

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra automatizační techniky a řízení

GUI aplikace pro řízení pneumatického pohonu

GUI Application for Pneumatic Drive Control

Student:

Bc. Markéta Pavelková

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Miroslav Mahdal Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Markéta Pavelková**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3902T004 Automatické řízení a inženýrská informatika
Téma: GUI aplikace pro řízení pneumatického pohonu
GUI Application for Pneumatic Drive Control

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s lineárním přímočarým pneumatickým pohonem v laboratoři H310 a popište jednotlivé prvky pneumatického obvodu.
2. Popište současný stav pneumatického pohonu, tedy z hlediska jeho řízení, z prostředí Matlab/Simulink, použitého hardware a možností náhrady za řídicí kartu MF634, včetně popisu vlastností karty.
3. Proveďte připojení modelu ke kartě MF634, ověřte stávající algoritmy řízení pohonu a proveďte syntézu regulačního obvodu.
4. Seznamte se s prostředím Matlab/Simulink a grafickým nástrojem GUI (Graphical User Interface). Vytvořte uživatelskou GUI aplikaci, umožňující identifikaci modelu a jeho řízení.
5. Zhodnoťte dosažené výsledky a možnosti jejich využití ve výuce.

Seznam doporučené odborné literatury:

HEROUT, P. 2004. Učebnice jazyka C. 4.vyd. České Budějovice: KOPP a.s., 2004. ISBN: 978-80-7232-383-8.
KOPÁČEK, J. 1996. Pneumatické mechanismy. Díl 1. Pneumatické prvky a systémy. Skripta VŠB-TU Ostrava, 1996.
KOPÁČEK, J. 2005. Pneumatické mechanismy. Díl 2. Řízení pneumatických systémů. 2005. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2005.
NEVRLÝ, J. 2003. Modelování pneumatických systémů. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2003. ISBN 80-7204-300-5.
NOSKIEVIČ, P. 1999. Modelování a identifikace systémů. 1. vydání, Ostrava, MONTANEX a.s., 1999, ISBN 80-7225-030-2.
ZMIJKA, M. 2013. Řízení pneumatického pohonu pomocí signálového procesoru. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Katedra 352, 2013, 81 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



Renata Wagnerová

doc. Ing. Renata Wagnerová, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě18.5.2015.....

.....Pavel'.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§5odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18. 5. 2015

..... Pavelková'

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Markéta Pavelková

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Dělnická 1592/2, Bruntál 79201



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Poděkování

Tato práce byla vypracována s podporou projektu Příležitost pro mladé výzkumníky, reg. č. CZ.1.07/2.3.00/30.0016 podpořeného Operačním programem Vzdělávání pro konkurenceschopnost, financovaného ze strukturálních fondů EU a státního rozpočtu ČR.

Děkuji především panu Ing. Miroslavu Mahdalovi, Ph.D. za poskytnuté konzultace, ochotu, kladný přístup a podporu při přípravě mé diplomové práce. Dále děkuji své rodině za vstřícný přístup, morální podporu, toleranci a pomoc během tvorby diplomové práce.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

PAVELKOVÁ, M. GUI aplikace pro řízení pneumatického pohonu: *diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra automatizační techniky a řízení, 2015, 78 s. Vedoucí práce: Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá tvorbou grafického uživatelského prostředí pro ovládání pneumatického pohonu. Jedná se o aplikaci vyvíjenou v prostředí Matlab/Simulink, jejímž prostřednictvím je možné uskutečňovat měření přechodových charakteristik, identifikování systému pomocí relé ve zpětné vazbě a provádět regulaci. V rámci automatizace aplikace je umožněno přímo zobrazit hodnoty, které dříve musely být odečítány z grafů. Jedná se například o časovou konstantu při měření přechodových charakteristik. Aplikace poskytuje uživatelům pohodlný přístup ke všem potřebným informacím o pneumatickém pohonu, což zjednodušuje práci na laboratorní úloze. Vytvořená aplikace je dokumentována v příloze diplomové práce.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

PAVELKOVÁ, M. *GUI Application for Pneumatic Drive Control: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Control System and instrumentation, 2015, 78 p. Thesis head: Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

This thesis deals with the graphical user interface for Pneumatic Drive Control. It is an application developed in Matlab/Simulink, through which it is possible to make measurements of the step response, identifying system using relay feedback and to control. Within the automation application is allowed to directly display values that previously had to be deducted from the graphs. These include the time constant when measuring step response. The application provides users with convenient access to all necessary information about the Pneumatic Drive Control, which simplifies work on laboratory task. This software application is documented in the supplement.

Obsah

Seznam použitých zkratek	9
Seznam použitého značení	9
Úvod.....	10
1 Laboratorní model pneumatického pohonu.....	11
1.1 Lineární přímočarý pneumatický pohon	11
1.2 Proporcionální průtokový ventil	14
1.3 Snímač polohy.....	18
1.4 Snímač tlaku.....	20
1.5 Zdroj tlaku.....	21
2 Popis stávajícího stavu pneumatického modelu	22
2.1 Srovnání měřicích karet MF614 a MF634	23
2.1.1 Měřicí karta MF614.....	24
2.1.2 Měřicí karta MF634.....	25
3 Ověření stávajících algoritmů.....	27
3.1 Identifikace lineárního přímočarého pneumatického pohonu.....	30
3.2 Návrh regulátorů	37
3.3 Identifikace pomocí relé ve zpětné vazbě	41
3.4 Návrh nového řízení.....	46
4 Matlab/Simulink a grafický nástroj GUI.....	52
4.1 Matlab	52
4.2 Simulink	54
4.3 Grafický nástroj GUI.....	55
5 GUI aplikace pro práci se simulačním modelem	58
5.1 Identifikace pneumatického pohonu	59
5.2 Identifikace pomocí relé.....	64

5.3	Regulace	68
5.4	Dialogová okna	70
	Závěr	72
	Seznam použité literatury.....	75
	Seznam obrázků	77

Seznam použitých zkratk

GUI	graphical user interface (grafické uživatelské prostředí)
MF	multifunction I/O card
PCI	Peripheral Component Interconnect

Seznam použitého značení

A_y	amplituda kmitu soustavy [m]
$G_s(s)$	spojitá přenosová funkce regulované soustavy
k_1	zesílení regulátoru [-]
k_p	zesílení regulátoru [-]
K_{pk}	kritické zesílení [V/m]
M	amplituda relé [-]
T_D	derivační časová konstanta [s]
T_d	dopravní zpoždění [s]
T_I	integrační časová konstanta [s]
T_k	kritická perioda kmitu [s]
u_0	skok vstupního signálu
w	žádaná hodnota [m]
w_s	skutečná poloha pístu [m]
Δt	přírůstek časového vektoru
Δy	přírůstek výstupního vektoru
ω_k	vlastní frekvence [s ⁻¹]

Úvod

Cílem diplomové práce je vytvořit řízení laboratorního modelu lineárního přímočarého pohonu pomocí karty MF634 a navrhnout GUI (Graphical User Interface) aplikaci pro řízení pneumatického pohonu. Úkolem této aplikace je umožnit snadnější a pohodlnější přístup k řízení pneumatického pohonu. Za účelem studia pneumatických pohonů byly vytvořeny tři úlohy, jedná se o identifikaci přímočarého lineárního pneumatického pohonu, identifikaci pohonu pomocí relé a regulaci pohonu. Prostřednictvím této aplikace je uživateli značně usnadněna práce při identifikaci a následné regulaci soustavy. GUI aplikace není určena pouze studentům, ale poskytne také vyučujícím rychlejší kontrolu výsledků. Grafická uživatelská aplikace umožní studentům snadněji pochopit danou problematiku.

Úvod diplomové práce je zaměřen na popis lineárního přímočarého pneumatického pohonu, který se nachází v laboratoři H310 umístěné v budově Vysoké školy Báňské v Ostravě. Následuje popis pneumatického pohonu z hlediska řízení z prostředí Matlab/Simulink. Dále je popsána multifunkční karta MF634 a následně je provedeno ověření stávajících algoritmů řízení prostřednictvím identifikace pneumatického pohonu. Poté je provedena syntéza regulačního obvodu a regulace pneumatického pohonu. Tato práce také seznamuje s programovým prostředím Matlab/Simulink a s grafickým nástrojem GUI. Nechybí zde popis uživatelské aplikace pro řízení pohonu. V závěru práce je uvedeno celkové zhodnocení práce a možnost využití aplikace ve výuce.

1 Laboratorní model pneumatického pohonu

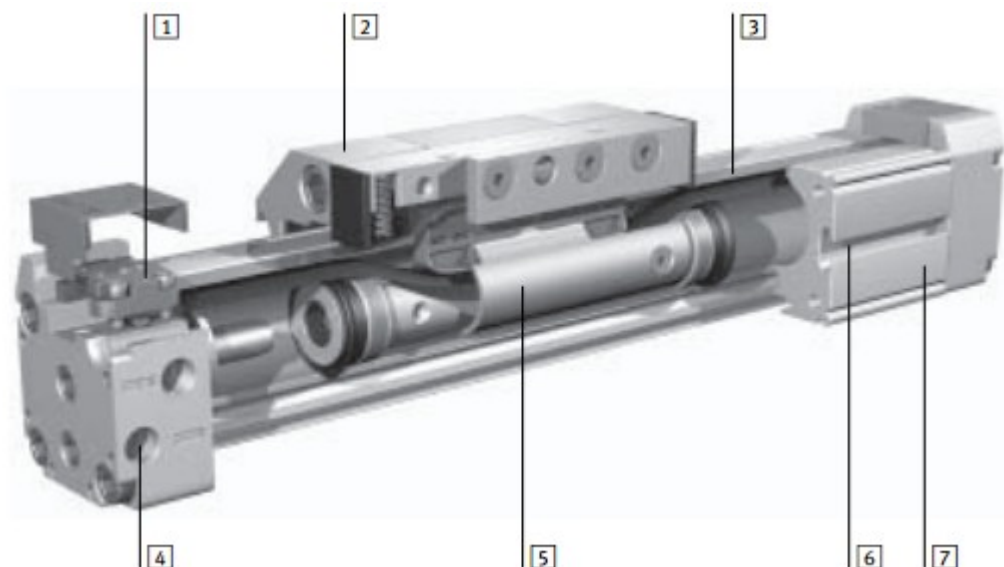
Laboratorní model pneumatického pohonu se skládá z pneumatického pohonu, proporcionálního průtokového ventilu, snímače polohy a snímače tlaku. Doplňujícími prvky obvodu jsou kompresor a tlumič hluku. Jednotlivé prvky modelu pneumatického pohonu jsou popsány v následujících podkapitolách.

1.1 Lineární přímočarý pneumatický pohon

Přímočarý pneumatický pohon s označením FESTO DGPL-25-1000-PPV-A-B-KF-GK-SH, který je podrobněji popsán pomocí tabulky 1, je provedením bezpístnicového pohonu se saněmi. Saně zabezpečují přepravu zátěže. Na obrázku 1 je znázorněno složení pneumatického válce [ZMIJKA, M. 2013, FESTO 2006].

Tabulka 1 Popis značení přímočarého pneumatického pohonu
[ZMIJKA, M. 2013, FESTO 2006]

Přímočarý pneumatický pohon FESTO DGPL-25-1000-PPV-A-B-KF-GK-SH	
DGPL	Lineární pneumatický pohon se saněmi
25	Průměr pístu (mm)
1000	Zdvih (mm)
PPV	Nastavitelné tlumení v koncových polohách
A	Snímání polohy magnetem
B	Výrobní řada
KF	Vedení v kuličkových oběžných pouzdrech
GK	Standardní saně
SH	Saně vzadu



Obrázek 1 Pneumatický válec [FESTO 2006]

- 1 Nastavitelné tlumení v koncových polohách (tlumiče nárazu, SoftStop SPC11),
- 2 pevně spojené saně s unášечem,
- 3 krycí pás (chrání motor před znečištěním),
- 4 více možností přívodů stlačeného vzduchu (na koncovém víku volitelně ze tří směrů),
- 5 píst,
- 6 upevňovací drážka/ drážka pro čidla (od průměru pístu 32 mm přídavná drážka pro kameny),
- 7 stabilní profil.

[FESTO 2006]

Mezi parametry pneumatického pohonu důležité z hlediska provozních zatížení a dynamiky patří zdvih, průměr pístu, pracovní tlak, délka tlumení, váha a další. Vybrané parametry jsou zpracovány v tabulce 2. Veškeré parametry pneumatického pohonu jsou uvedeny v [FESTO 2006].

Tabulka 2 Vybrané parametry pneumatického pohonu [FESTO 2006]

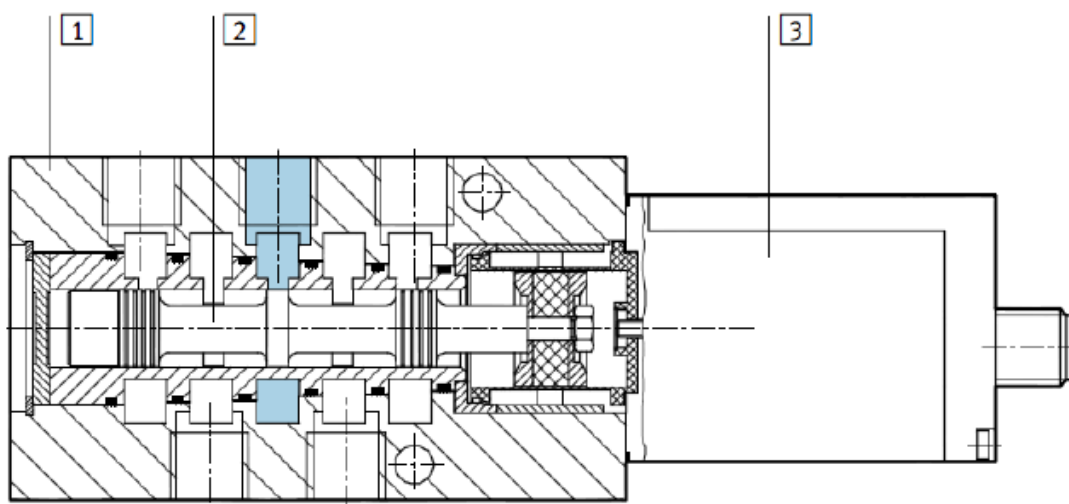
Vybrané parametry pneumatického pohonu	
zdvih	1000 mm
průměr pístu	25 mm
pracovní tlak	2 - 8 bar
teoretická síla při tlaku 6 bar	295 N
váha	6,67 kg
váha pohyblivých hmot	0,43 kg
délka tlumení	18 mm

1.2 Proporcionální průtokový ventil

Proporcionální průtokový ventil plní funkci akčního členu a proto je jedním z nejdůležitějších prvků celého obvodu. Dynamika regulačního obvodu závisí právě na jeho dynamických vlastnostech. V laboratorním modelu je použitý ventil s označením FESTO MPYE-5-1/8HF-010-B. Toto označení je vysvětleno v tabulce 3. Řez daného ventilu je ukázán na obrázku 2 [ZMIJKA, M. 2013].

Tabulka 3 Popis značení proporcionálního průtokového ventilu
[ZMIJKA, M. 2013]

Průtokový ventil FESTO MPYE-5-1/8HF-010-B	
MPYE	proporcionální průtokový ventil
5	5/3 proporcionální ventil (klidová poloha)
1/8 HF	typ pneumatického propojení
010	analogový řídicí signál
B	výrobní řada B



Obrázek 2 Řez proporcionálním průtokovým ventilem [ZMIJKA, M. 2013]

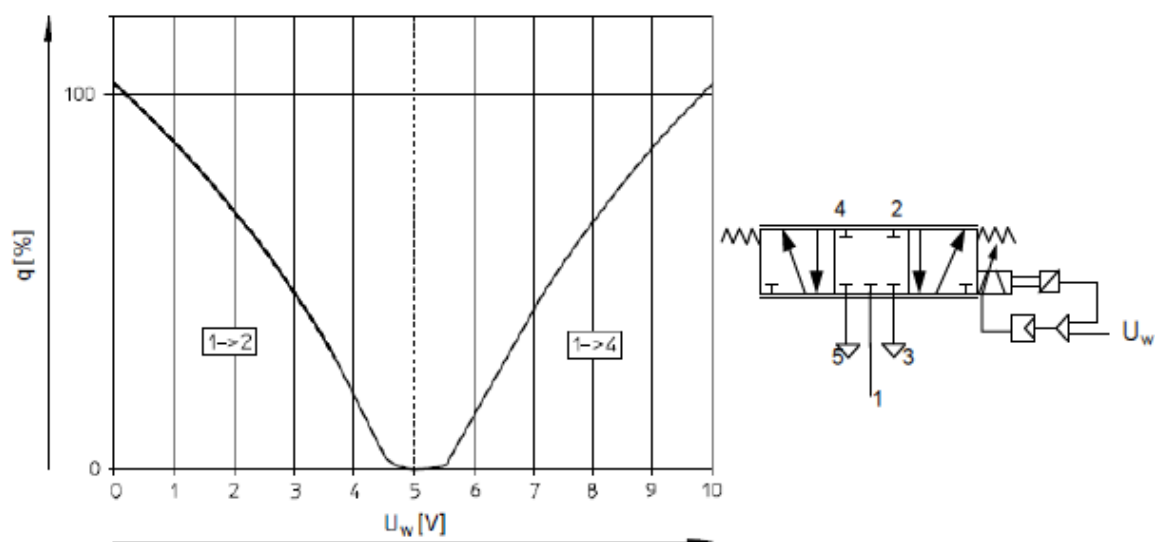
- 1 těleso,
- 2 šoupátko,
- 3 těleso pro elektroniku.

Vybrané vlastnosti proporcionálního ventilu jsou uvedeny v tabulce 4. Nejdůležitější vlastností z hlediska začlenění ventilu do regulačního obvodu je kritická frekvence, protože určuje dynamiku použitého proporcionálního ventilu. Kritická frekvence odpovídá horní mezní frekvenci frekvenční charakteristiky daného ventilu [ZMIJKA, M. 2013].

Tabulka 4 Vlastnosti proporcionálního průtokového ventilu
[ZMIJKA, M. 2013]

Vlastnosti proporcionálního průtokového ventilu	
Obecné technické parametry	
průtok	100 až 2000 l/min
tlak	0 až 10 bar
jmenovitá světlost	6 mm
jmenovitý průtok	700 l/min
Parametry elektronické části	
napájecí napětí	17 až 30 V DC
řídící napětí	0 až 10 V
napětí odpovídající střední poloze	5 V DC ($\pm 0,1$)
proudový odběr:	
šoupátko ve střední poloze	100 mA
šoupátko plně otevřeno	1100 mA
Charakteristické veličiny	
maximální hystereze	0,4%
kritická frekvence	100 Hz
Provozní podmínky	
provozní teplota okolí	0 až 50 °C
provozní teplota pracovního média	5 až 40 °C

Další důležitou vlastností je závislost řídícího napětí ventilu na jeho poměrném otevření, která je graficky znázorněna na obrázku 3. V oblasti střední polohy šoupátka je funkční závislost zploštělá, což je způsobeno pozitivním krytím šoupátka. Toto krytí šoupátka způsobuje určitou nelinearitu regulačního obvodu a může mít negativní vliv na průběh celé regulace. V případě ustáleného stavu pneumatického obvodu má krytí šoupátka pozitivní vliv[ZMIJKA, M. 2013].



Obrázek 3 Závislost řídicího napětí ventilu na poměrném otevření ventilu
[ZMIJKA, M. 2013]

1.3 Snímač polohy

Snímání polohy saní pneumatického pohonu je zajištěno pomocí odporového snímače polohy s označením FESTO MLO-POT-1250-TLF, který je vyobrazen na obrázku 4. Snímač je tvořen potenciometrem, jehož jezdec je spojen se saněmi pneumatického pohonu. Výstupem snímače polohy je analogové napětí v rozsahu 0 – 100% napájecího napětí potenciometru. V tabulce 5 jsou uvedeny vybrané charakteristické vlastnosti snímače [ZMIJKA, M. 2013].



Obrázek 4 Odporový snímač polohy [ZMIJKA, M. 2013]

Tabulka 5 Vybrané vlastnosti snímače polohy [ZMIJKA, M. 2013]

Vlastnosti snímače polohy	
Obecné technické parametry	
měřicí princip	analogový potenciometr
rozlišení	0,01 mm
maximální rychlost pohybu	10 m/s
maximální zrychlení pohybu	200 m/s ²
Elektrické parametry	
napájecí napětí	10 V _{DC}
maximální proudová spotřeba	4 mA
doporučená hodnota proudu při	< 1 μA
maximální krátkodobý proud při	10 mA
jmenovitá hodnota odporu	10 kΩ
tolerance jmenovitého odporu	± 20%
Provozní podmínky	
rozsah provozních teplot	-30 až 100 °C

1.4 Snímač tlaku

V daném pneumatickém obvodu je tlak měřen v obou pracovních komorách pneumatického válce a vstupní systémový tlak ventilu, který je tvořen a přiváděn kompresorem. V této práci byly použity senzory DMP 331 od firmy BD Sensors. Podrobnější informace lze nalézt v [BD SENSORS]. Některé vybrané parametry snímačů tlaku jsou uvedeny v tabulce 6 [ZMIJKA, M. 2013].



Obrázek 5 Snímač tlaku [ZMIJKA, M. 2013]

Tabulka 6 Vlastnosti snímače tlaku

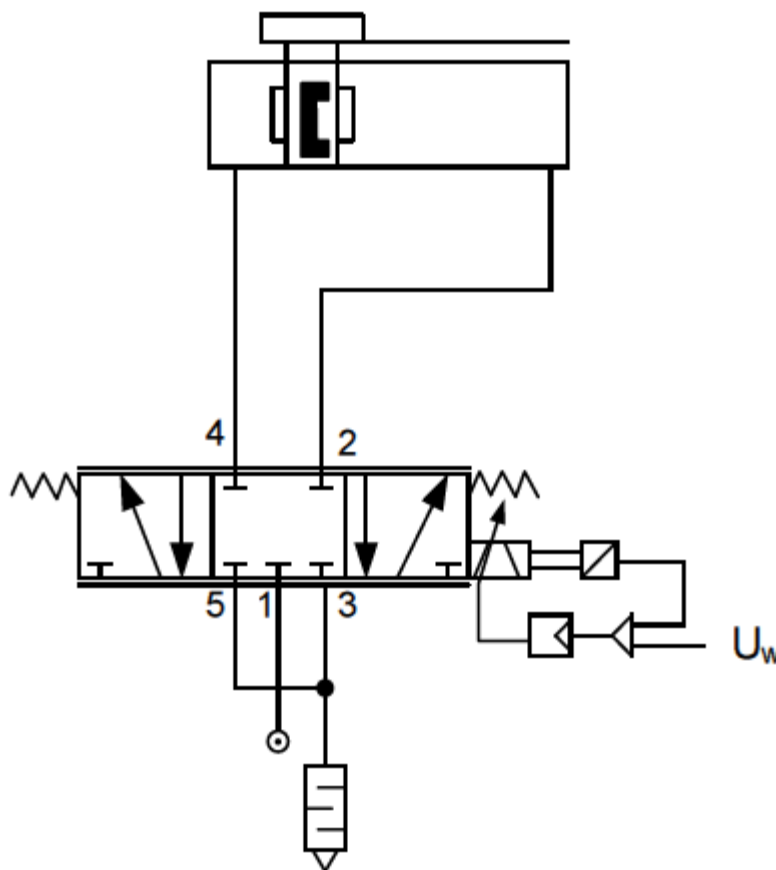
Vybrané parametry snímače tlaku DMP 311	
Obecné parametry	
měřicí rozsah	0 až 10 bar
jmenovitý tlak (relativní)	10 bar
Výstupní signály	
2vodičový standard/ napájecí napětí	4 až 20 mA nebo 8 až 32 V _{DC}
3vodičový standard/ napájecí napětí	0 až 20 mA nebo 0 až 10 V/ 14 až 32 V _{DC}
Parametry elektrického výstupu	
přesnost	$\leq \pm 0,35 \text{ \% FSO}$
povolená zátěž: proud 2vodič	$R_{\max} = [(UB - UB_{\min}) / 0,02] \Omega$
povolená zátěž: proud 3vodič	$R_{\max} = 500 \Omega$
povolená zátěž: napětí 3vodič	$R_{\min} = 10 \text{ k}\Omega$
dlouhodobá stabilita	$\leq \pm 0,1 \text{ \% FSO}$
doba odezvy	2 vodič: $\leq 10\text{ms}$ 3vodič: $\leq 3\text{ms}$
Chyba vlivem teploty	
toleranční pásmo	$\leq \pm 0,75 \text{ \% FSO}$
při rozsahu pracovních teplot	-20 až 85 °C
Rozsah provozních teplot	
elektronika	-40 až 85 °C
provozní medium	-40 až 125 °C

1.5 Zdroj tlaku

Zdrojem tlaku použitým v této laboratorní úloze je kompresor JUN-AIR BHC. Kompresor zajišťuje výrobu stlačeného vzduchu, který je následně rozváděn do pneumatického obvodu.

2 Popis stávajícího stavu pneumatického modelu

Laboratorní model pneumatického pohonu se tedy skládá z pneumatického pohonu, proporcionálního průtokového ventilu, snímače polohy, snímače tlaku, tlumiče hluku a zdroje tlaku. Z hlediska regulace představuje proporcionální ventil akční člen, snímač polohy válce poskytuje zpětnovazební informaci o skutečné poloze pístnice a pneumatický pohon působí jako řízená soustava. Schéma zapojení pneumatického obvodu je zobrazeno na obrázku 6.



Obrázek 6 Schéma laboratorního modelu pneumatického systému
[ZMIJKA, M. 2013]

Stávající řízení sestává z řízení polohy šoupátka proporcionálního ventilu. Díky interní elektronice ventilu stačí zadat určitou hodnotu napětí a je umožněno regulovat polohu šoupátka. Soustava byla připojena k řídicí kartě MF614 a je řiditelná ze systému Matlab/Simulink. Změna polohy šoupátka způsobí přivedení stlačeného vzduchu do jedné ze dvou komor pneumatického válce, což má za následek pohyb pohonu v daném směru.

Pohyb v opačném směru uskutečníme změnou polohy šoupátka a otevřením druhé komory pneumatického válce. Pokud na ventil připojíme regulační smyčku pro generování hodnoty referenčního napětí pro otevření ventilu, je možné regulovat polohu jezdce [ZMIJKA, M. 2013].

2.1 Srovnání měřicích karet MF614 a MF634

Pneumatický pohon byl do nynějška napojen na kartu MF614. Cílem je přepojit pohon na kartu MF634 a zajistit jeho správnou funkci. Hlavním důvodem tohoto přepojení je podpora komunikace prostřednictvím sběrnice PCI express, která tvoří současný standard počítačových zařízení. Bylo ověřeno, že karta MF614 má téměř všechny potřebné piny nastavené stejně jako karta MF634. Výjimku tvoří pin číslo 10, který u karty MF614 plní funkci digitálního výstupu na rozdíl od stejně očíslovaného pinu u karty MF634, který plní funkci analogového uzemnění. Bylo tedy provedeno přepojení pinu č. 11 na pin č. 10, aby nedošlo k nesprávné funkci pneumatického systému.

I/O Signals

AD0	1	20	DA0
AD1	2	21	DA1
AD2	3	22	DA2
AD3	4	23	DA3
AD4	5	24	DA4
AD5	6	25	DA5
AD6	7	26	
AD7	8	27	
AGND	9	28	+5V
DA6	10	29	GND
DA7	11	30	DOUT0
DIN0	12	31	DOUT1
DIN1	13	32	DOUT2
DIN2	14	33	DOUT3
DIN3	15	34	DOUT4
DIN4	16	35	DOUT5
DIN5	17	36	DOUT6
DIN6	18	37	DOUT7
DIN7	19		

Table 24. X1 Connector Pin Assignment

I/O Signals

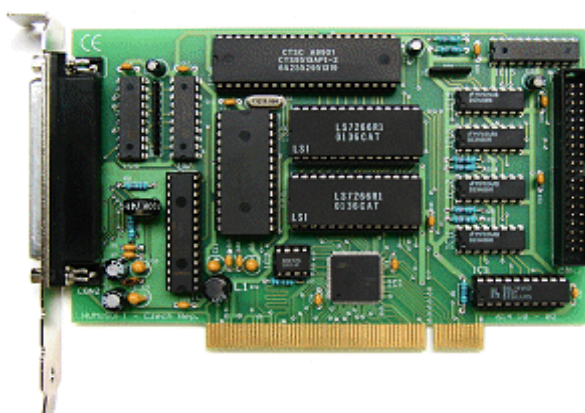
AD0	1	20	DA0
AD1	2	21	DA1
AD2	3	22	AGND
AD3	4	23	DA2
AD4	5	24	DA3
AD5	6	25	AGND
AD6	7	26	-12V
AD7	8	27	+12V
AGND	9	28	+5V
AGND	10	29	GND
GND	11	30	DOUT0
DIN0	12	31	DOUT1
DIN1	13	32	DOUT2
DIN2	14	33	DOUT3
DIN3	15	34	DOUT4
DIN4	16	35	DOUT5
DIN5	17	36	DOUT6
DIN6	18	37	DOUT7
DIN7	19		

Table 15. X1 Connector Pin Assignment

Obrázek 7 Srovnání pinů karet MF614 a MF634 [HUMUSOFT 2014 b, c]

2.1.1 Měřicí karta MF614

MF614 je multifunkční měřicí karta, která je určena pro potřeby připojení kompatibilních počítačů s reálnými signály. Karta MF614 obsahuje 5 čítačů/časovačů. Tato karta slouží pro standardní sběr dat a řízení aplikací. Karta MF614 disponuje vzorkovací frekvencí až 100 kHz a je optimalizována pro použití Real Time Toolbox v programovém prostředí MATLAB®. Karta tedy obsahuje ovladač pro Real Time Toolbox pro MATLAB®, dále ovladač pro Real-Time Windows Target, ovladač pro xPC Target a ovladač pro Windows. Pomocí nástroje Real-Time Windows Target je umožněno začlenění měřicích karet do schémat v Simulinku a spouštění simulačních modelů v reálném čase. Během simulace je umožněno měnit parametry jednotlivých toolboxů a zobrazit výsledky v reálném čase pomocí zobrazovacích toolboxů v Simulinku. Vzhledem k malým rozměrům a nízké spotřebě energie ji lze použít nejen ve stolních počítačích, ale také v přenosných počítačích. Karta MF614 komunikuje po sběrnici PCI [HUMUSOFT 2014 b, d]. Pro znázornění je karta zobrazena na obrázku 8 a její vstupy a výstupy jsou přehledně vypsány v tabulce 7.



Obrázek 8 Měřicí karta MF614 [HUMUSOFT 2014 b]

Tabulka 7 Vstupy a výstupy karty MF614[HUMUSOFT 2014 b]

Vstupy/výstupy	počet	vstupní rozsahy [V]
12 bitové analogové vstupy	8	± 10 , ± 5 , 0-10, 0-5
12 bitové analogové výstupy	4	± 10
digitální vstupy	8	
digitální výstupy	8	
diferenciální vstupy inkrementálních snímačů	4	

2.1.2 Měřicí karta MF634

Multifunkční měřicí karta MF634 je novější verzí karty MF614. Na rozdíl od karty MF614 komunikuje prostřednictvím sběrnice PCI express. Dále je karta MF634 vybavena 32 bitovou architekturou pro rychlý přenos. Na kartě jsou integrovány ovladače pro C programování, ovladač pro Real-Time Windows Target, ovladač pro xPC Target a ovladač pro MATLAB®[HUMUSOFT 2014 c]. Pro znázornění je karta MF634 zobrazena na obrázku 9 a její vstupy a výstupy jsou přehledně vypsány v tabulce 8.



Obrázek 9 Měřicí karta MF634 [HUMUSOFT 2014 c]

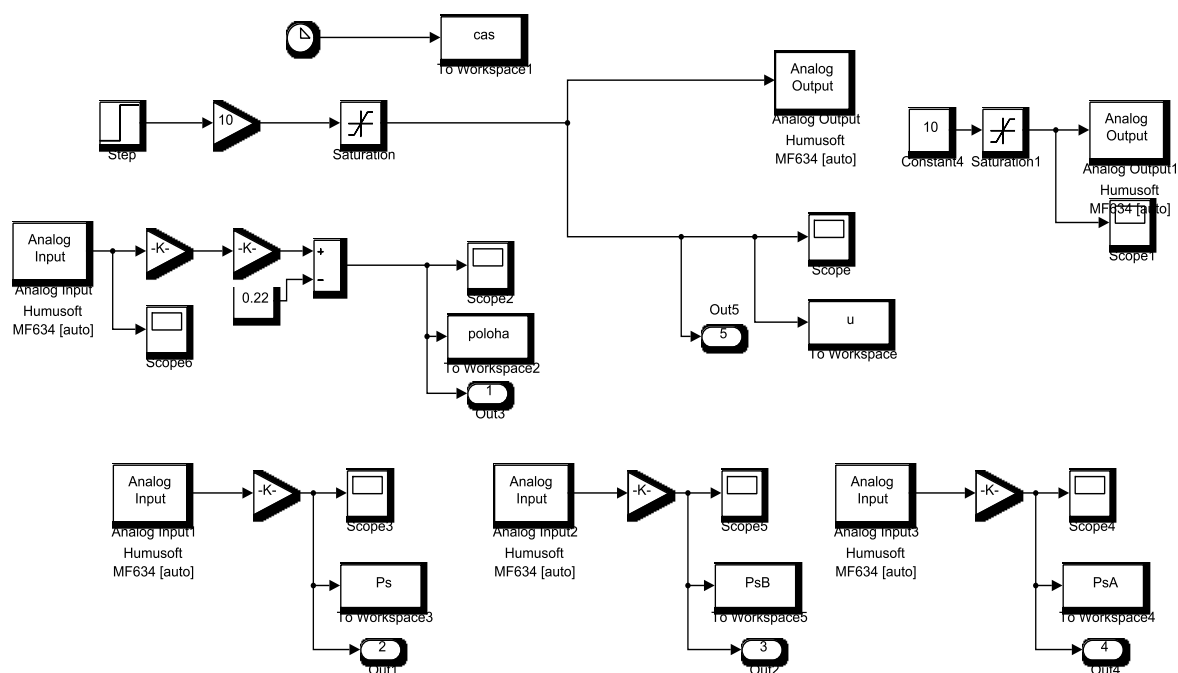
Tabulka 8 Tabulka 1 Vstupy a výstupy karty MF634[HUMUSOFT 2014 c]

Vstupy/výstupy	počet	vstupní rozsahy [V]
14 bitové analogové vstupy	8	± 10
14 bitové analogové výstupy	8	± 10
digitální vstupy	8	
digitální výstupy	8	
vstupy inkrementálních snímačů	4	

Před ověřením stávajících algoritmů bylo nutné zjistit parametry současné měřicí karty MF614 a náhradní karty MF634. Dále je potřeba ověřit chování modelu po spuštění současných simulačních schémat.

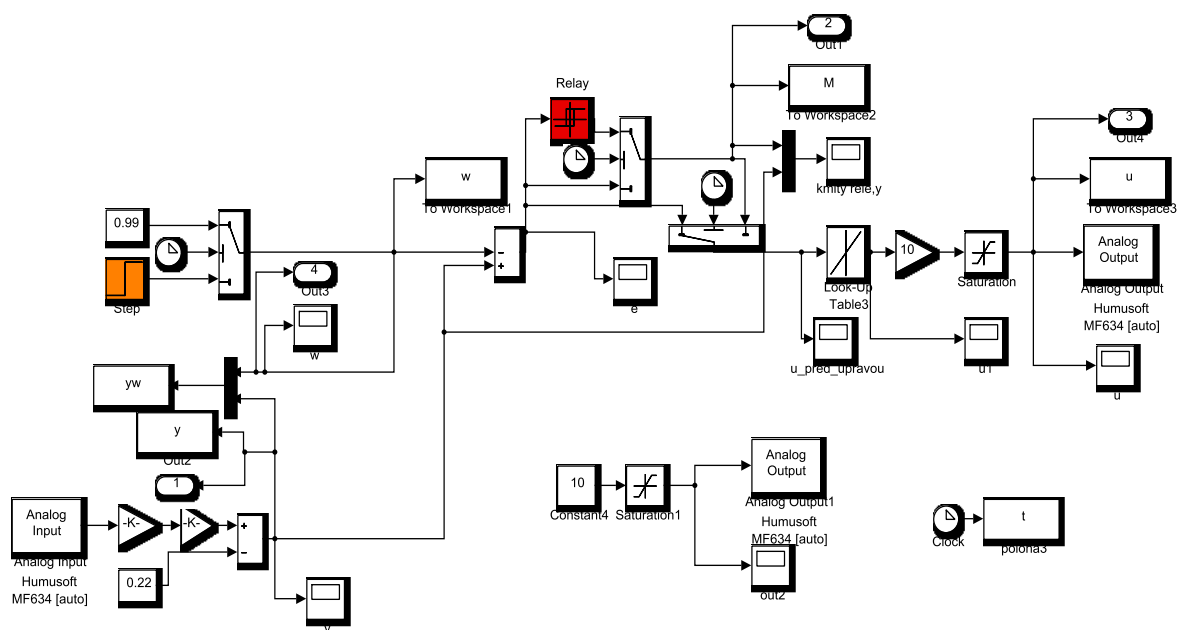
3 Ověření stávajících algoritmů

Ověření stávajících algoritmů spočívá v úpravě existujících simulačních schémat. Jedná se o schémata pro realizaci identifikace pneumatického pohonu, identifikace s relé a simulaci regulace. Schémata jsou zobrazena na následujících obrázcích.



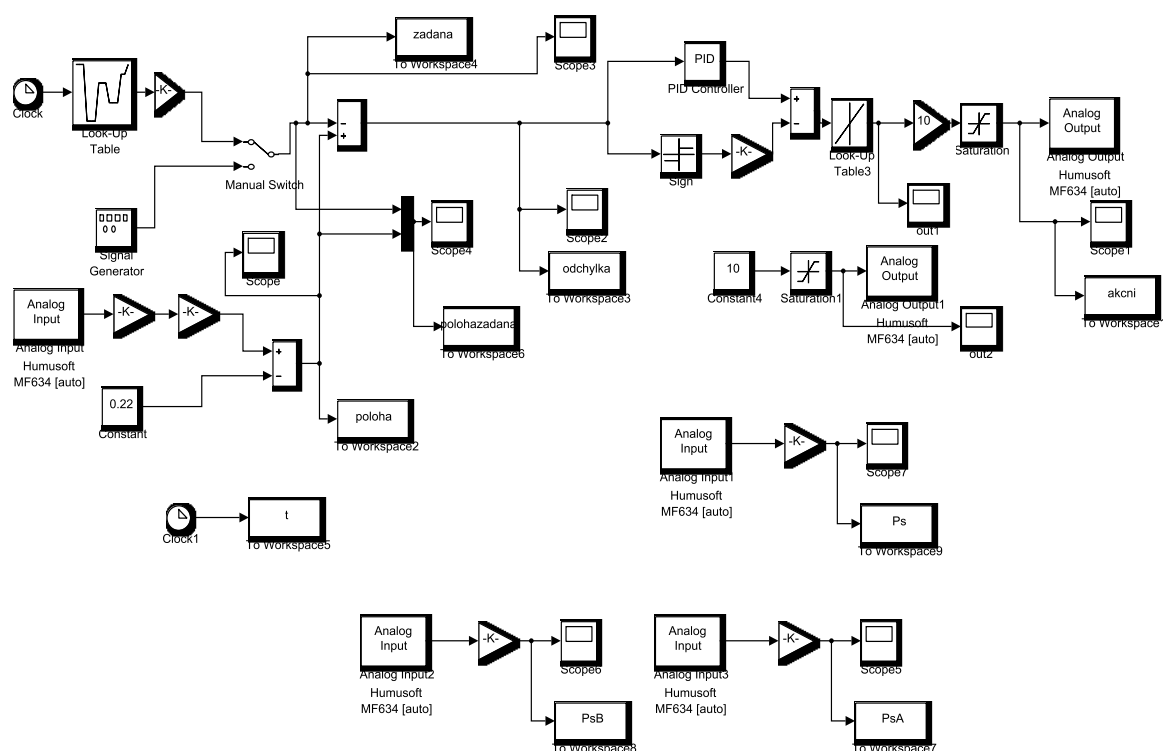
Obrázek 10 Simulační schéma pro identifikaci pneumatického pohonu

Simulační schéma pro identifikaci pneumatického pohonu zajišťuje měření přechodových charakteristik daného pohonu. Jedná se tedy o vygenerování průběhu polohy a skoku vstupního signálu v podobě žádané hodnoty. Schéma obsahuje také bloky pro jednotlivé tlaky v komorách A a B a pro systémový tlak. Aby nedošlo k překročení maximální hodnoty napětí, jsou použity bloky pro saturaci.



Obrázek 11 Simulační schéma pro identifikaci s relé

Pomocí tohoto schématu je umožněno rozkmitat danou soustavu a vrátit jezdce vždy na konec pneumatického pohonu. Schéma pro identifikaci s relé obsahuje blok relé, v němž je možné měnit amplitudu relé a hodnotu zapnutí. Pomocí přepínačů je řízeno zapínání a vypínání relé. Všechny potřebné proměnné jsou vyvedeny do bloku ToWorkspace nebo Scope pro zajištění jejich snadné kontroly.



Obrázek 12 Simulační schéma pro regulaci

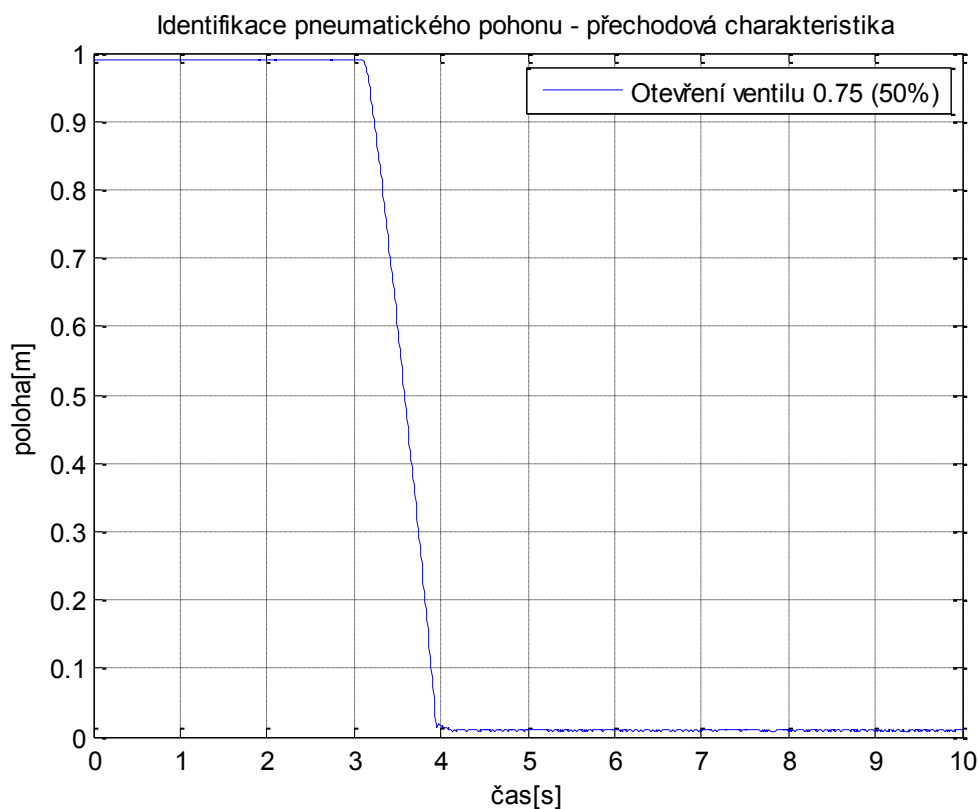
Posledním simulačním schématem je schéma zajišťující regulaci. Toto schéma obsahuje blok pro PID regulátor, který umožňuje měnit parametry regulátoru. Pomocí bloku Look-UpTable zadává uživatel požadovaný průběh. Nechybí zde také bloky zprostředkující jednotlivé tlaky pneumatického systému.

Pro zajištění správné funkčnosti pneumatického pohonu bylo nutné provést náhradu bloků RT (Real Time) za bloky pro analogový vstup (Analog Input). Všechna schémata byla doplněna o bloky Out, které zajišťují import proměnné do pracovního okna Workspace v programovém prostředí Matlab.

Následné ověření stávajících algoritmů bylo provedeno prostřednictvím identifikace pneumatického modelu. Jedná se o identifikaci pneumatického pohonu pomocí měření přechodové charakteristiky a identifikaci pohonu pomocí relé ve zpětné vazbě.

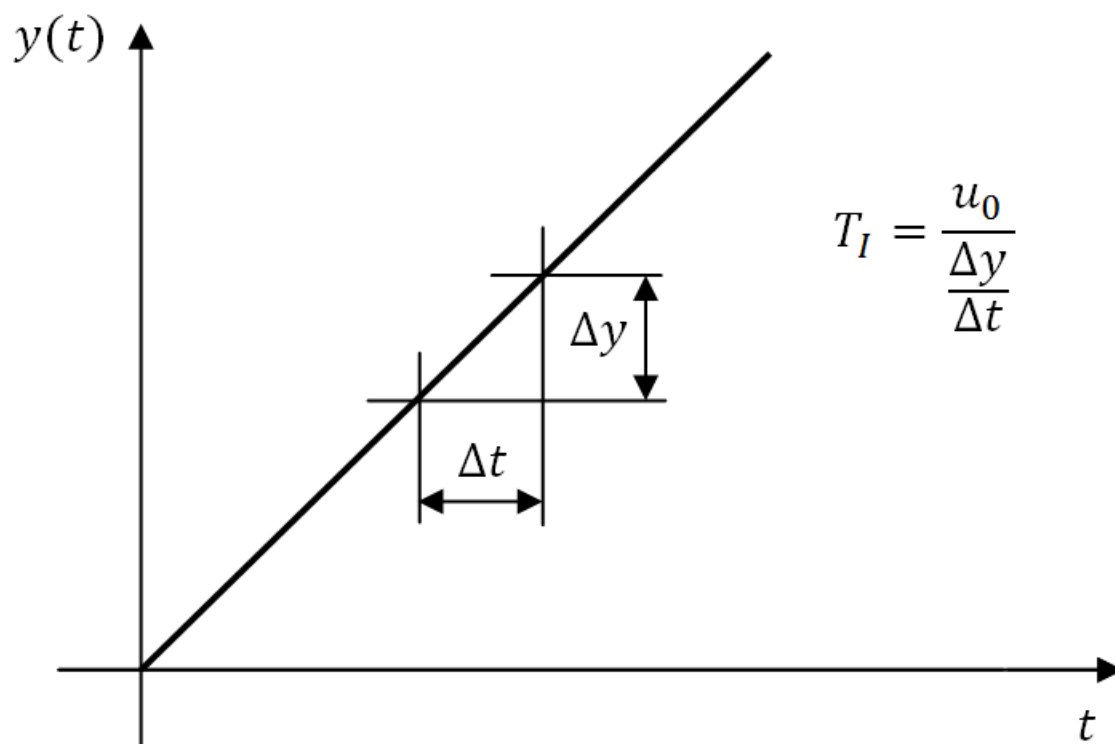
3.1 Identifikace lineárního přímočarého pneumatického pohonu

Pomocí ověřeného schématu v Simulinku byla v laboratoři provedena přímá identifikace pneumatického pohonu se vstupním skokovým signálem. Hodnota otevření ventilu byla 0,75, což představuje 50 % otevření ventilu. Výsledkem přímé identifikace je graf zobrazený na obrázku 13, který představuje přechodovou charakteristiku v otevřené smyčce.



Obrázek 13 Přechodová charakteristika pro otevření ventilu 0,75 (50%)

Následně byla provedena aproximace přechodové charakteristiky za účelem získání přenosu. Postup odečtení příslušných hodnot je zobrazen na obrázku 14.



Obrázek 14 Aproximace přechodové charakteristiky

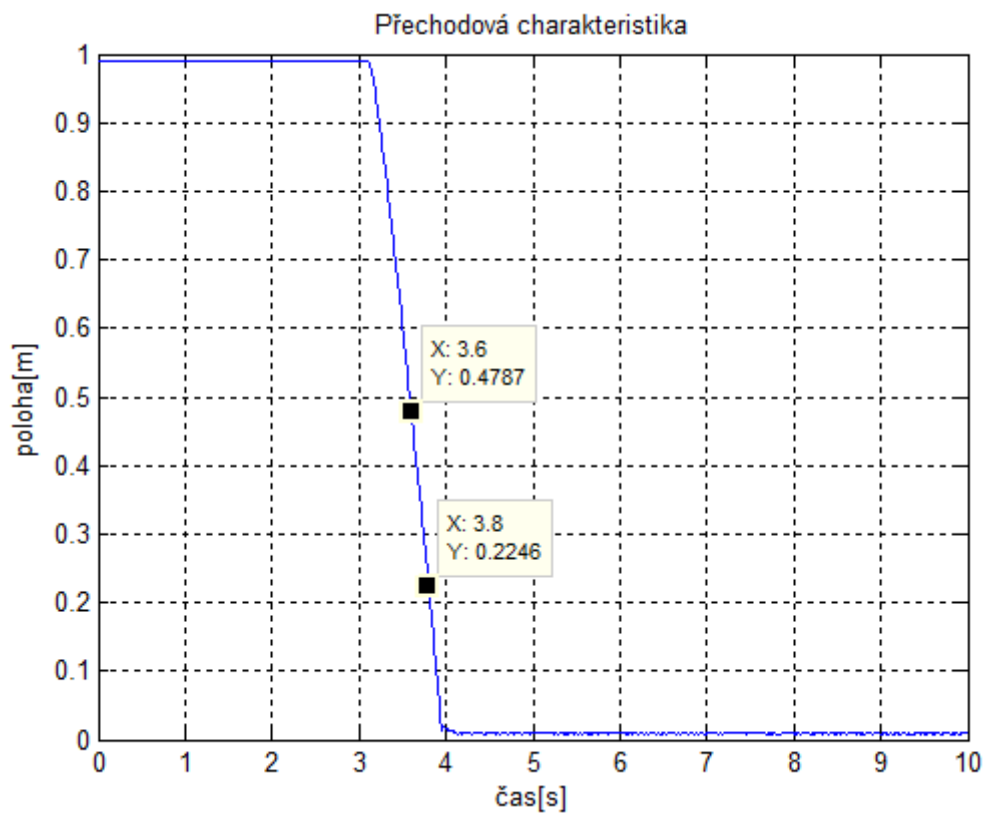
Pro výpočet byly použity následující vztahy:

$$T_I = \frac{u_0}{\frac{\Delta y}{\Delta t}}$$

$$G_s(s) = \frac{1}{T_I s}$$

[NOSKIEVIČ, P. 1999]

Na následujícím obrázku 15 jsou zobrazeny odečtené hodnoty Δy a Δt .



Obrázek 15 Odečtení hodnot Δy a Δt

Δy bylo odečteno z přechodové charakteristiky

$u_0 = 0,25$ (otevření ventilu – 50 %)

$\Delta y = 0,2541$

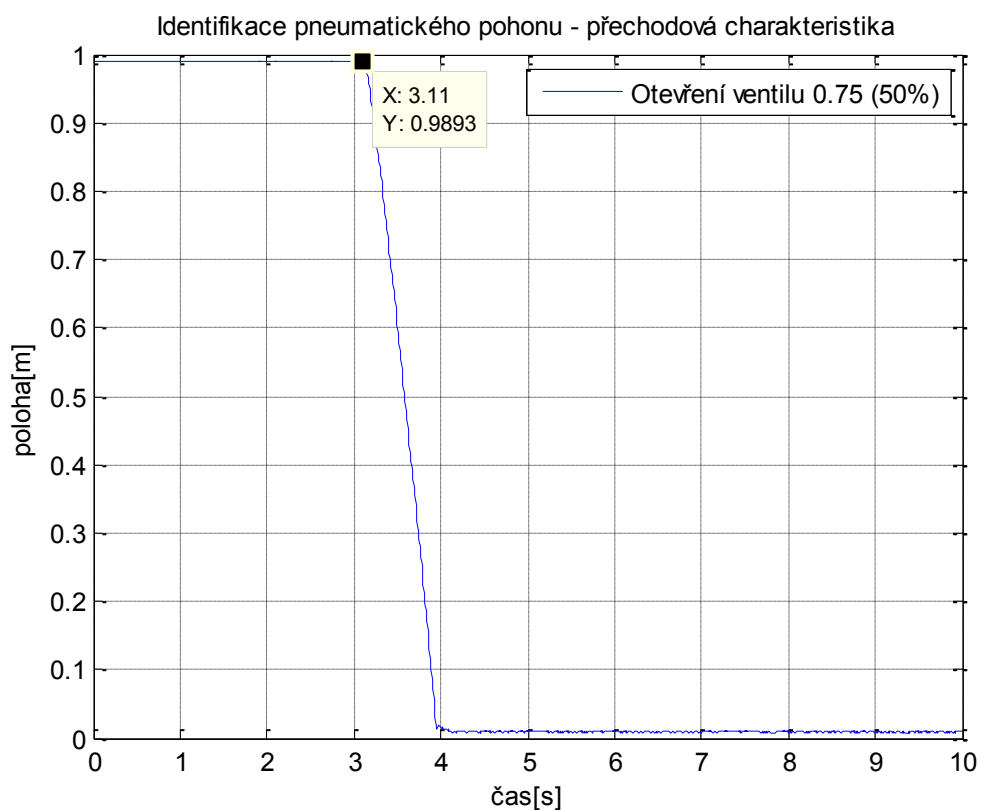
$\Delta t = 0,2$ s

$T_l \doteq 0,1968$

Aproximací přechodové charakteristiky byl získán přenos ve tvaru:

$$G_s(s) = \frac{1}{0,1968s}$$

Dále bylo zjištěno dopravní zpoždění $T_d = 0,11$ s v souladu s obrázkem 16.

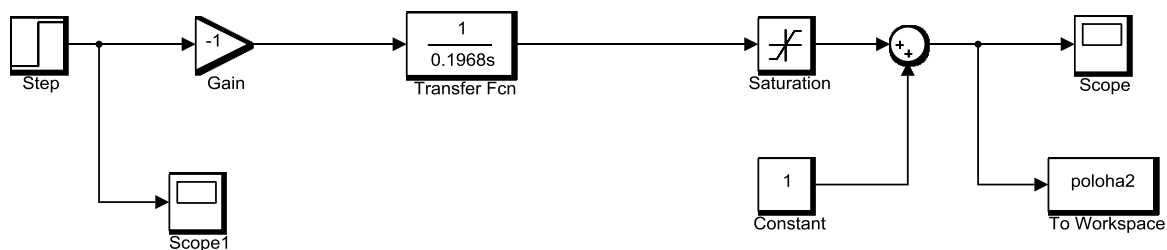


Obrázek 16 Dopravní zpoždění

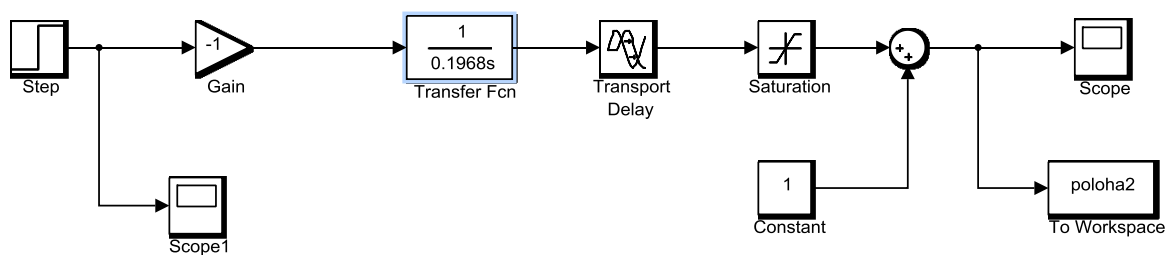
Zjištěný přenos soustavy s dopravním zpožděním:

$$G_s(s) = \frac{1}{0,1968s} e^{-0,11s}$$

Pro porovnání bylo vytvořeno a použito simulační schéma, které je zobrazeno na obrázcích 17 a 18.

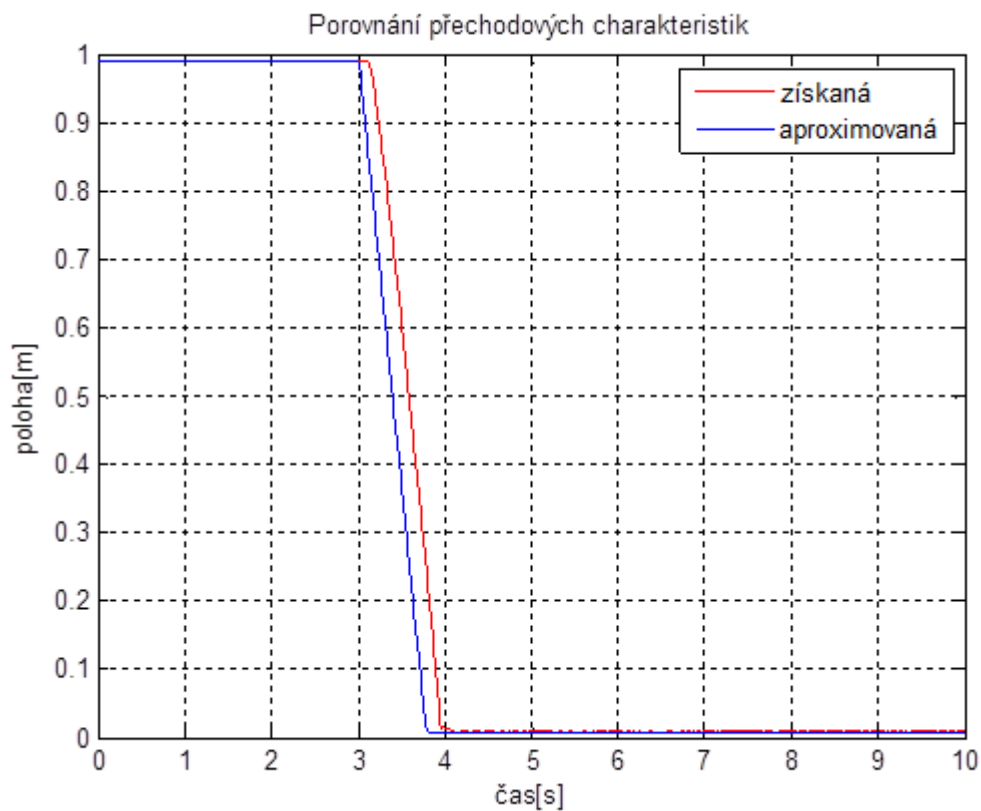


**Obrázek 17 Simulační schéma pro vykreslení přechodové charakteristiky
(bez dopravního zpoždění)**

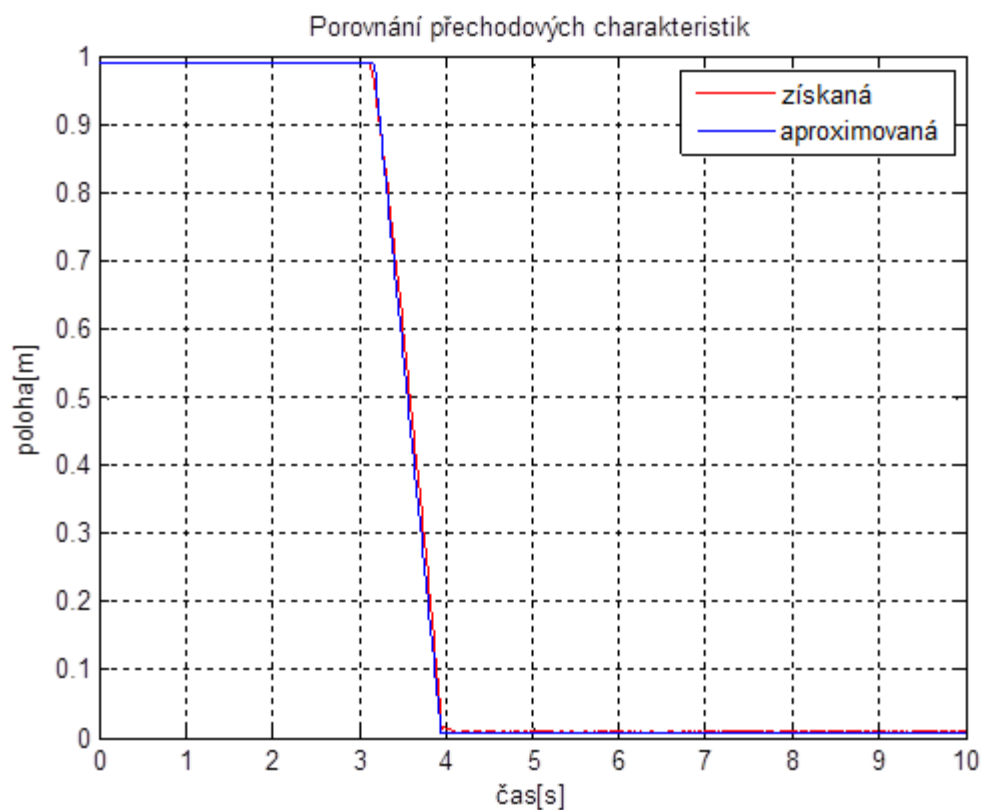


Obrázek 18 Simulační schéma pro vykreslení přechodové charakteristiky (s dopravním zpožděním)

Nyní následuje srovnání obou průběhů pro ověření správnosti výpočtu daného přenosu.



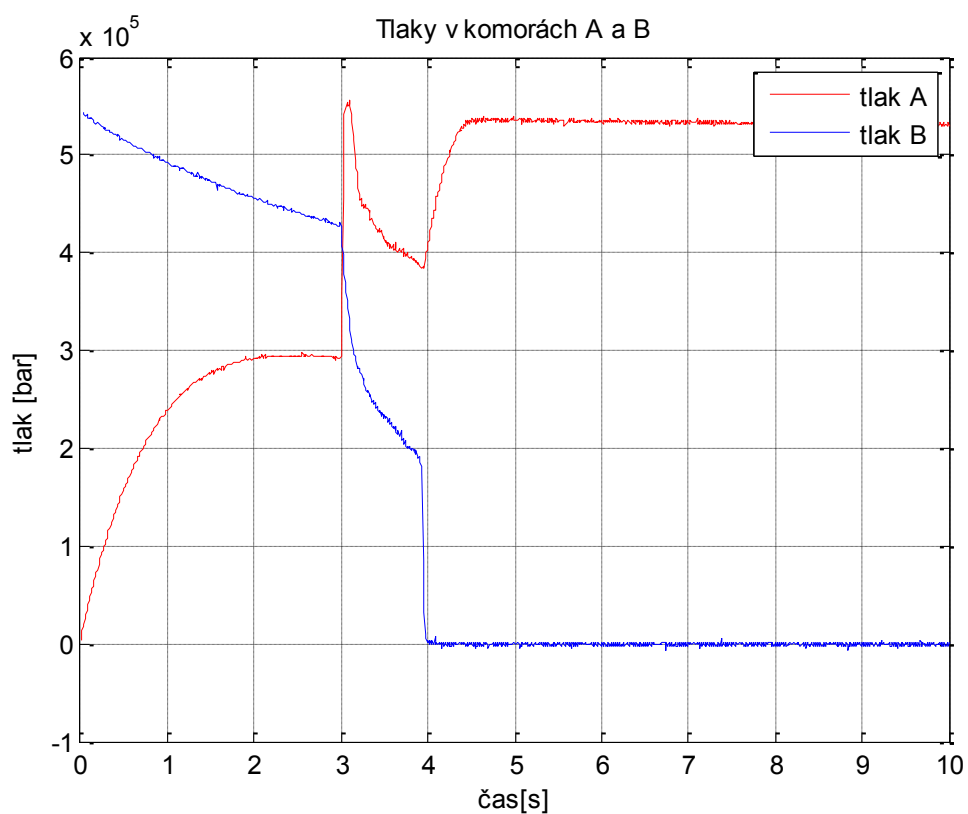
Obrázek 19 Porovnání přechodových charakteristik s přenosem bez dopravního zpoždění



Obrázek 20 Porovnání přechodových charakteristik s přenosem s dopravním zpožděním

Z předchozích obrázků 19 a 20 je patrné, že vypočítané přenosy jsou správné, přičemž přenos s dopravním zpožděním je přesnější.

Na následujícím obrázku jsou vykresleny průběhy tlaků v jednotlivých komorách.



Obrázek 21 Průběh tlaků v komorách A a B

Průběhy tlaků v jednotlivých komorách odpovídají danému nastavení. Z průběhů je patrné, že tlak v komoře A má rostoucí tendenci a tlak v komoře B naopak téměř skokově klesá, což odpovídá činnosti pneumatického pohonu. V čase 3 sekundy je pozorovatelná změnu tlaků, v tomto okamžiku byla nastavena skoková změna vstupního signálu.

3.2 Návrh regulátorů

Pro získaný přenos s dopravním zpožděním byly navrženy parametry regulátorů typu PI a PID podle metody násobného dominantního pólu.

Pro regulátor typu PI:

$$k_P = \frac{2(\sqrt{2} - 1)}{k_1 T_d} e^{\sqrt{2}-2} \doteq 0,461 \frac{1}{k_1 T_d}$$

$$T_I = (3 + 2\sqrt{2})T_d \doteq 5,828 T_d$$

Pro regulátor typu PID:

$$k_P = \frac{6(\sqrt{3} - 3)}{k_1 T_d} e^{\sqrt{3}-3} \doteq 0,784 \frac{1}{k_1 T_d}$$

$$T_I = (2 + \sqrt{3})T_d \doteq 3,732 T_d$$

$$T_D = \frac{3 + \sqrt{3}}{18} T_d \doteq 0,263 T_d$$

[VÍTEČEK, A., VÍTEČKOVÁ, M. 2008]

Pro výpočet byly použity následující hodnoty:

$$k_1 = 1$$

$$T_d = 0,11$$

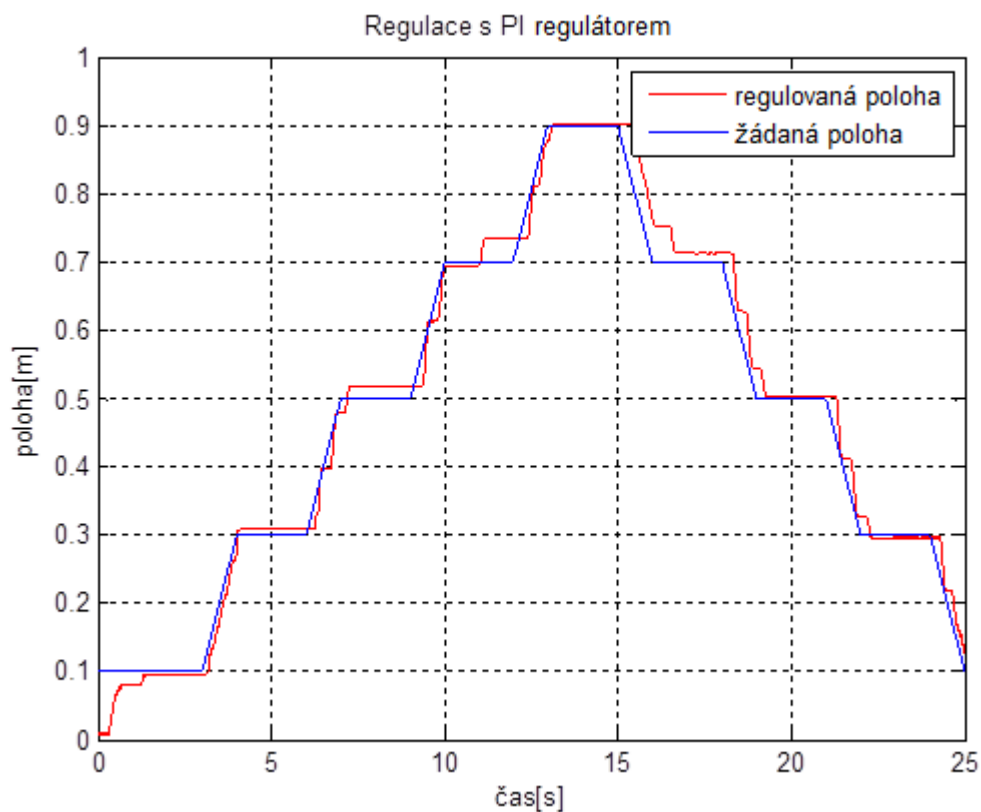
Tabulka 9 Parametry regulátoru typu PI

Regulátor typu PI	
k_P	2,559
T_I	0,641

Tabulka 10 Parametry regulátoru typu PID

Regulátor typu PID	
k_P	4,351
T_I	0,411
T_D	0,029

Pro parametry regulátorů uvedených v tabulkách č. 9 a 10 byla uskutečněna regulace pneumatického pohonu. Jednotlivé průběhy jsou zobrazeny níže na obrázcích 22 až 24.



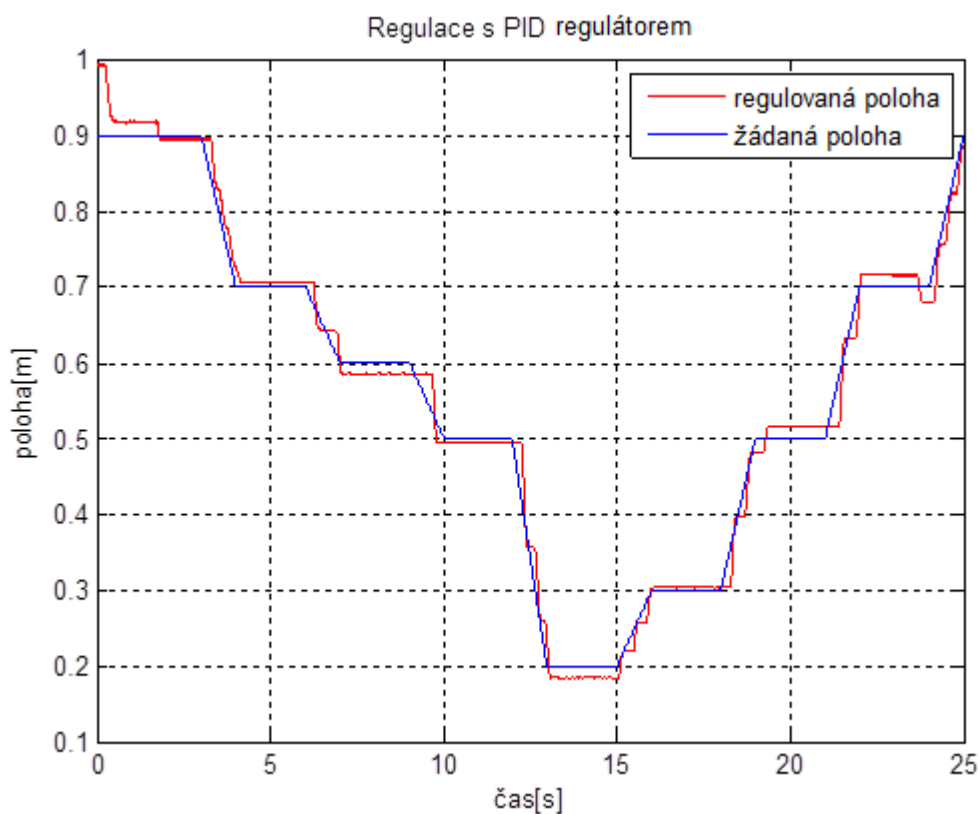
Obrázek 22 Regulace s vypočtenými parametry pro regulátor typu PI

Na obrázku 22 je zobrazen průběh regulace s následujícími parametry regulátoru PI:

$$k_p = 2,559$$

$$T_I = 0,641$$

Podle metody násobného dominantního pólu byl navržen regulátor typu PI. Při regulaci vzniká trvalá regulační odchylka, která je způsobena tím, že návrh regulátoru byl proveden pro celou soustavu. Pneumatický pohon je však nelineární a v jednotlivých zdvizích má mírně lišící se vlastnosti, proto je regulační odchylka na různých zdvizích různě velká.



Obrázek 23 Regulace s vypočtenými parametry pro regulátor typu PID

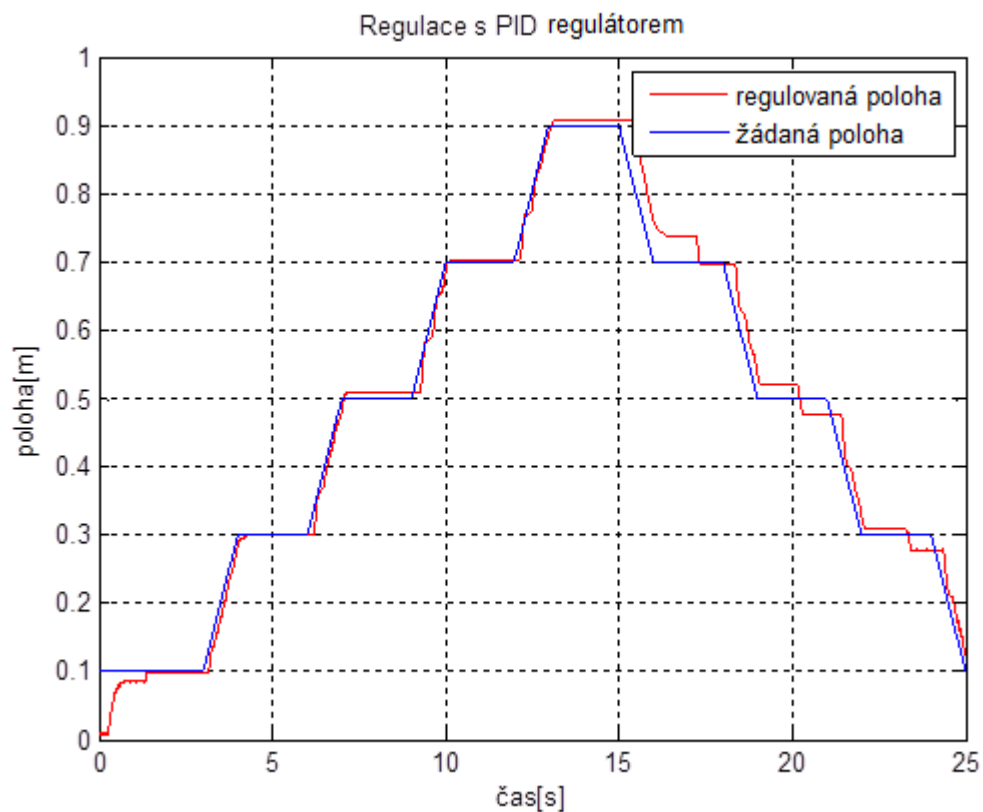
Na obrázku 23 je zobrazen průběh regulace s následujícími parametry regulátoru PID:

$$k_P = 4,351$$

$$T_I = 0,411$$

$$T_D = 0,029$$

Podle metody násobného dominantního pólu byl navržen regulátor typu PID. Při regulaci vzniká trvalá regulační odchylka, která je způsobena tím, že návrh regulátoru byl proveden pro celou soustavu, jak je popsáno výše.



Obrázek 24 Regulace s empiricky navrženými parametry pro regulátor typu PID

Pro PID regulátor, jehož průběh regulace je zobrazen na obrázku 24, byly na základě znalostí o PID regulaci zvoleny následující parametry:

$$k_P = 3$$

$$T_I = 0,75$$

$$T_D = 0,053$$

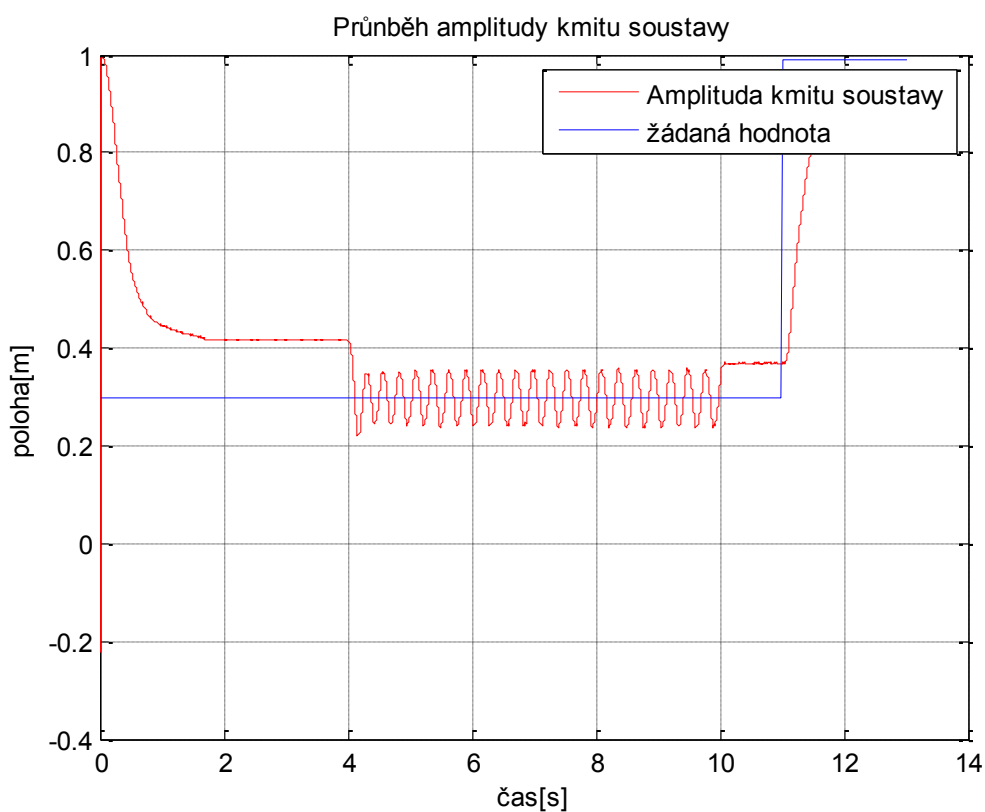
Regulace není úplně přesná a nepodařilo se navrhnout vhodnější parametry regulátorů, ale pro účely této práce je dosažená přesnost postačující.

3.3 Identifikace pomocí relé ve zpětné vazbě

Pro jednotlivé zdvihy 0,1 až 0,9 m byla provedena identifikace pomocí relé ve zpětné vazbě. Následně byly odečteny hodnoty amplitudy relé, hodnoty skutečné polohy pístu a hodnoty kritické periody kmitů. Graf, z něhož byly hodnoty odečítány, je zobrazen na obrázku 25. Amplituda relé byla nastavena na konstantní hodnotu 0,6. Hodnoty kritického zesílení a vlastní frekvence byly vypočteny podle následujících vzorců:

$$K_{pk} = \frac{4M}{\pi A_y}$$

$$\omega_k = \frac{2\pi}{T_k}$$



Obrázek 25 Amplituda kmitu soustavy

Všechny hodnoty byly přehledně zapsány do následující tabulky:

Tabulka 11 Výsledné hodnoty pro identifikaci pomocí relé

w [m]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
M [m]	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
w_s [m]	0,098	0,194	0,298	0,399	0,503	0,605	0,706	0,81	0,907
A_y [m]	0,025	0,044	0,054	0,065	0,067	0,065	0,061	0,051	0,035
T_k [s]	0,21	0,29	0,27	0,31	0,34	0,32	0,35	0,3	0,25
K_{pk} [V/m]	30,5732484	17,37116	14,15428	11,75894	11,40793	11,75894	12,53002	14,98689	21,83803
ω_k [s⁻¹]	29,9047619	21,65517	23,25926	20,25806	18,47059	19,625	17,94286	20,93333	25,12

w [m] - žádaná hodnota

M [-] - amplituda relé

w_s [m] - skutečná poloha pístu

A_y [m] - amplituda kmitu soustavy

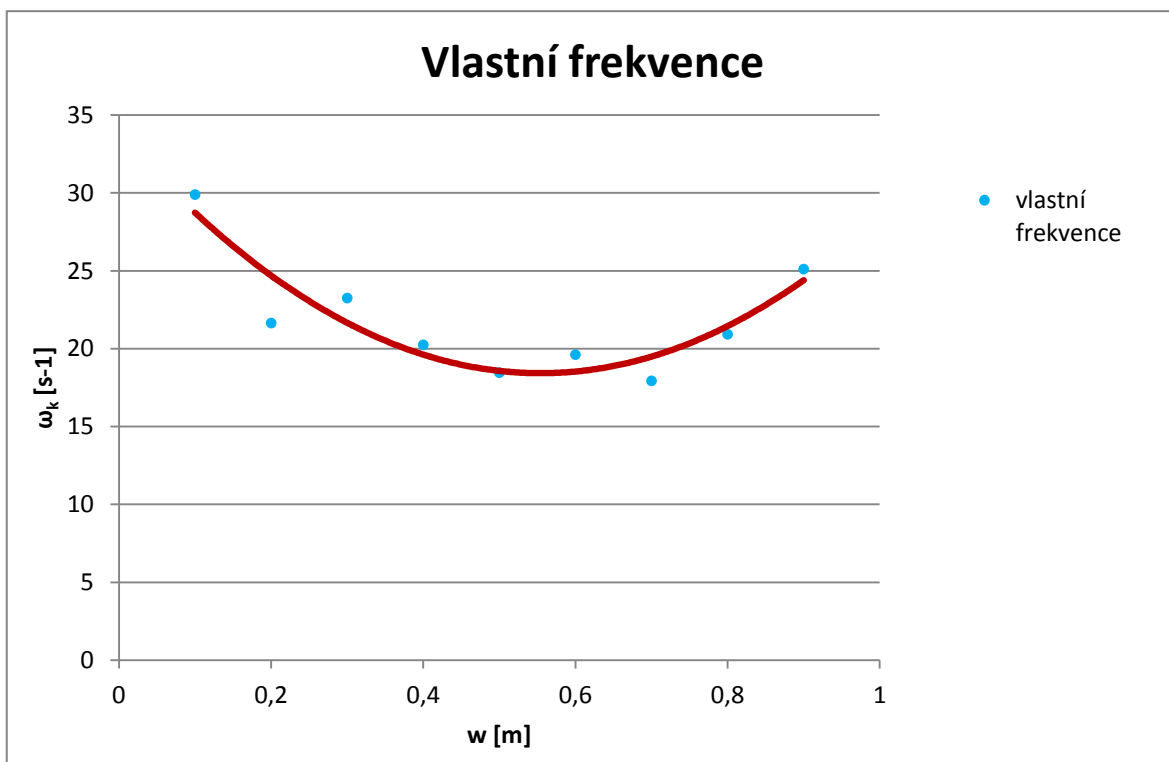
T_k [s] - kritická perioda kmitu

k_{pk} [V/m] - kritické zesílení

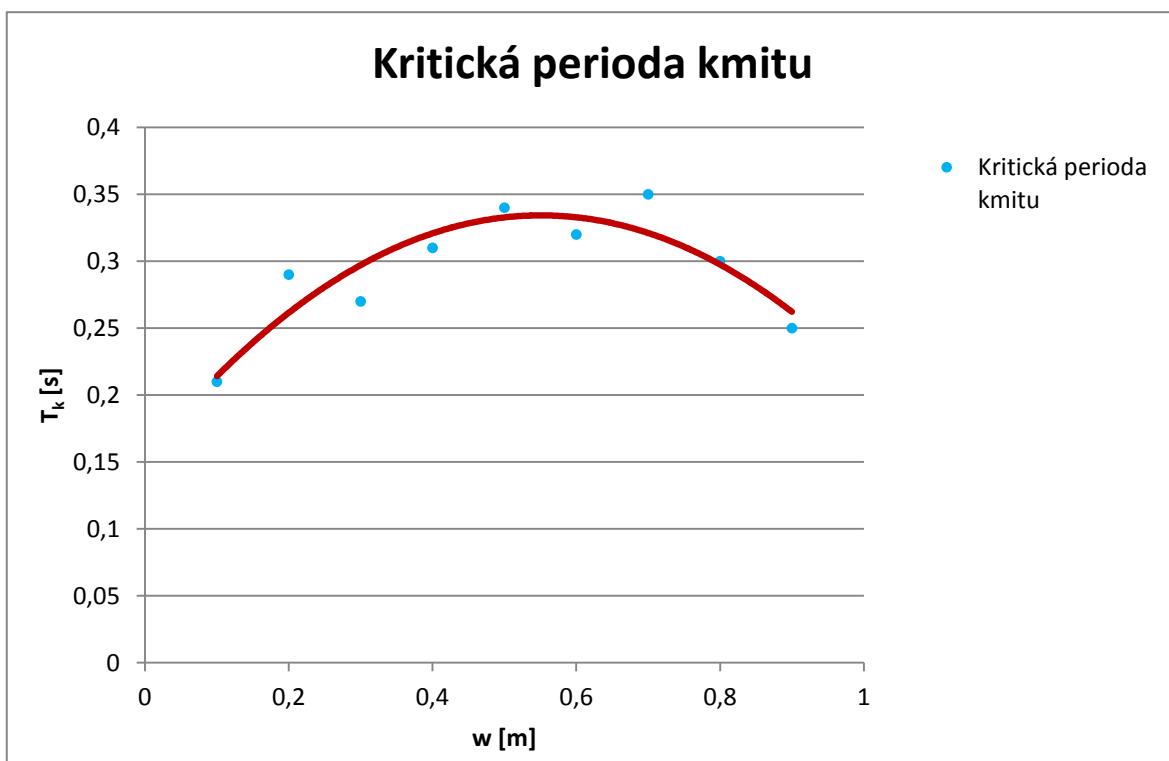
ω_k [s⁻¹] - vlastní frekvence

Následně byly vykresleny grafy závislosti frekvence na zdvizích, závislosti kritického zesílení na zdvizích, závislosti amplitudy relé na zdvizích a závislosti kritické periody kmitů na zdvizích.

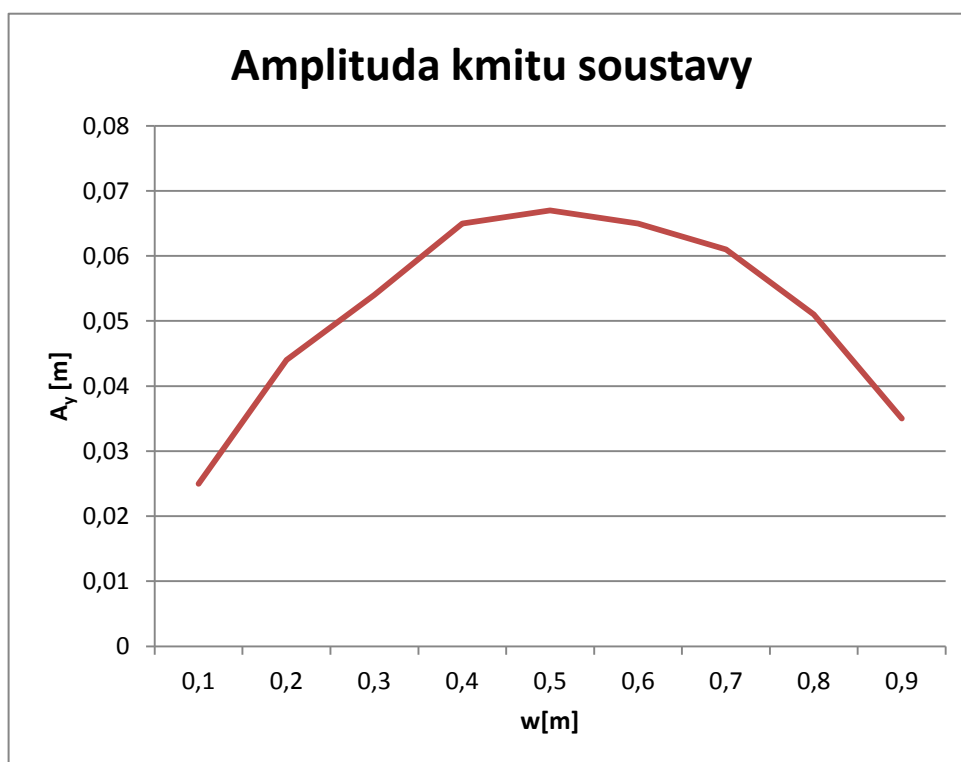
Graf 1 Závislost vlastní frekvence na zdvizích



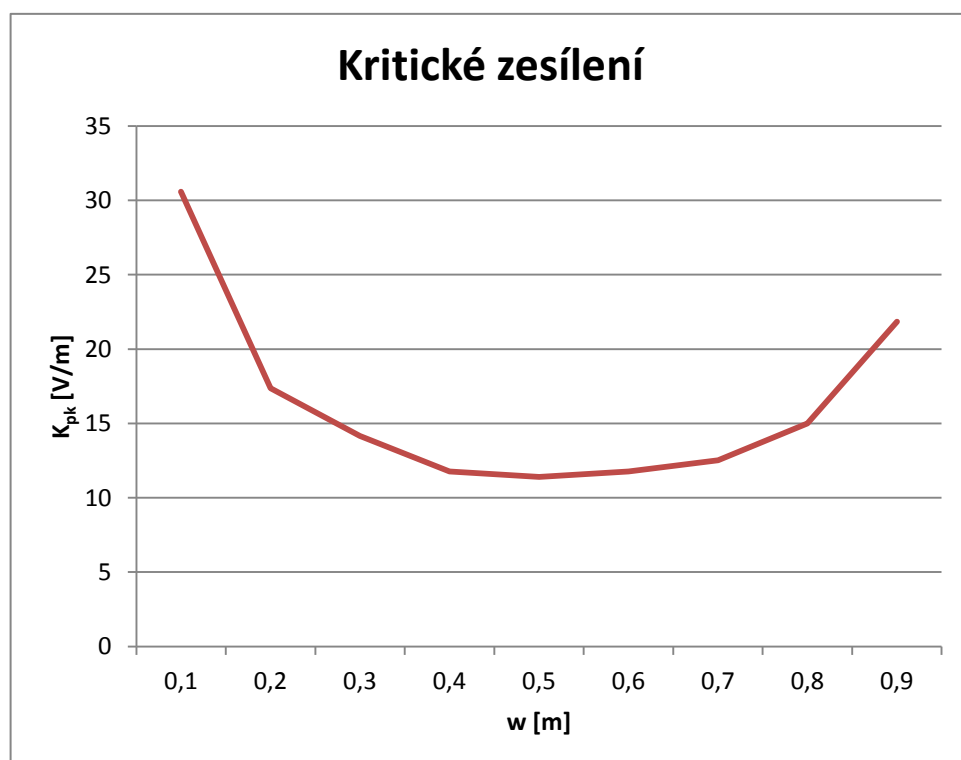
Graf 2 Závislost kritické periody kmitu na zdvizích



Graf 3 Závislost amplitudy kmitu soustavy na zdvizích



Graf 4 Závislost kritického zesílení na zdvizích



Tyto průběhy odpovídají vlastnostem pneumatických systémů, tedy vztahům mezi vlastní frekvencí a periodou kmitů, kde vlastní frekvence je rovna podílu 2π a periody kmitů. Grafy zobrazující závislost vlastní frekvence a kritické periody kmitu na jednotlivých zdvizích byly pro přehlednost doplněny spojnicí trendu.

3.4 Návrh nového řízení

Podle Ziegler-Nicholsovy metody seřizování regulátoru byly navrženy parametry regulátorů P, PI, PD a PID pro jednotlivé zdvihy. Tyto parametry jsou pro přehlednost zobrazeny v tabulce 12. Pro regulaci byly vybrány hodnoty odpovídající žádané hodnotě 0,5 m, které jsou v dané tabulce vyznačeny oranžově.

**Tabulka 12 Parametry regulátorů podle Ziegler-Nicholsovy metody
[DUŠEK, F. 2000]**

Typ regulátoru	Proporcionální složka k_p	Integrační složka T_I	Derivační složka T_D
P	$0,50k_{krit}$	-	-
PI	$0,45k_{krit}$	$0,85T_{krit}$	-
PD	$0,40k_{krit}$	-	$0,50T_{krit}$
PID	$0,60k_{krit}$	$0,50T_{krit}$	$0,12T_{krit}$
K_{krit} – kritické zesílení; T_{krit} – kritická perioda ($T_{krit}=2*\pi/\omega_{krit}$)			

Tabulka 13 Parametry regulátoru typu P

P regulátor										průměr	min
Žádaná hodnota	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9		
K _p	15,2866242	8,685582	7,077141	5,879471	5,703964	5,879471	6,26501	7,493443	10,91902	8,132191	5,703964

Tabulka 14 Parametry regulátoru typu PI

PI regulátor										průměr	min
Žádaná hodnota	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9		
K _p	13,7579618	7,817024	6,369427	5,291524	5,133568	5,291524	5,638509	6,744099	9,827116	7,318972	5,133568
T _I	0,1785	0,2465	0,2295	0,2635	0,289	0,272	0,2975	0,255	0,2125	0,249333	0,1785

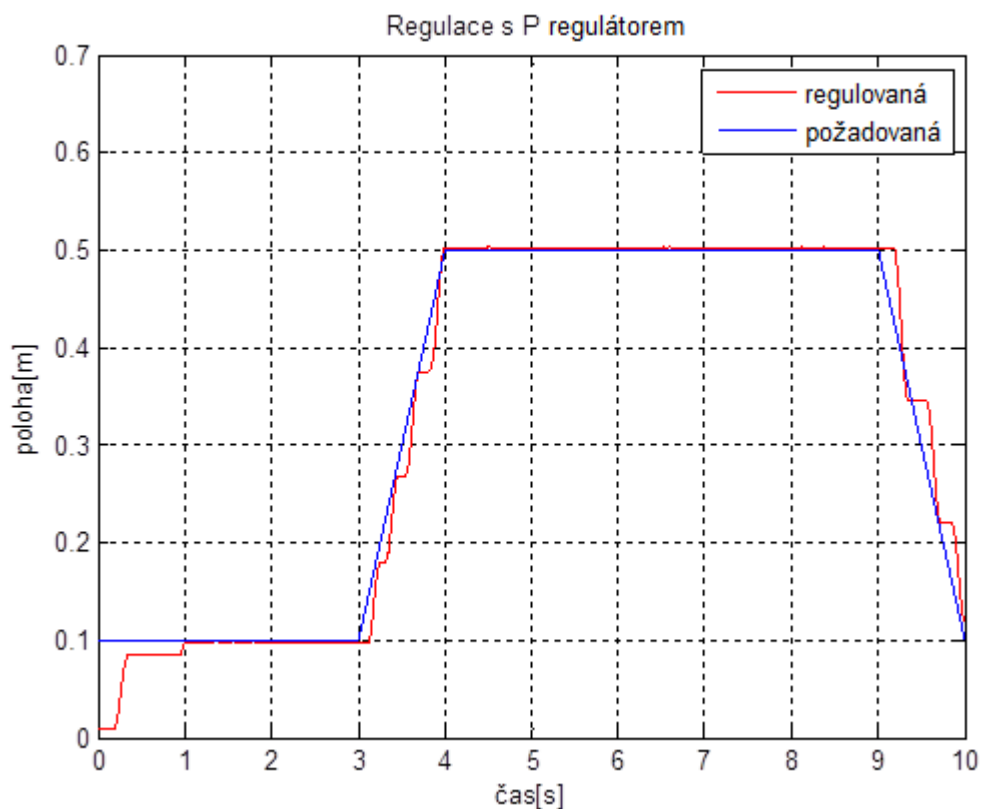
Tabulka 15 Parametry regulátoru typu PD

PD regulátor										průměr	min
Žádaná hodnota	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9		
K _p	12,2292994	6,948466	5,661713	4,703577	4,563171	4,703577	5,012008	5,994755	8,735214	6,505753	4,563171
T _D	0,105	0,145	0,135	0,155	0,17	0,16	0,175	0,15	0,125	0,146667	0,105

Tabulka 16 Parametry regulátoru typu PID

PID regulátor										průměr	min
Žádaná hodnota	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9		
K _p	18,343949	10,4227	8,492569	7,055365	6,844757	7,055365	7,518012	8,992132	13,10282	9,75863	6,844757
T _I	0,105	0,145	0,135	0,155	0,17	0,16	0,175	0,15	0,125	0,146667	0,105
T _D	0,0252	0,0348	0,0324	0,0372	0,0408	0,0384	0,042	0,036	0,03	0,0352	0,0252

Pro parametry regulátorů uvedených v tabulkách 14 až 16 byla uskutečněna regulace pneumatického pohonu. Jednotlivé průběhy jsou zobrazeny níže na obrázcích 26 až 29. Regulace byla provedena pro žádanou hodnotu 0,5m.



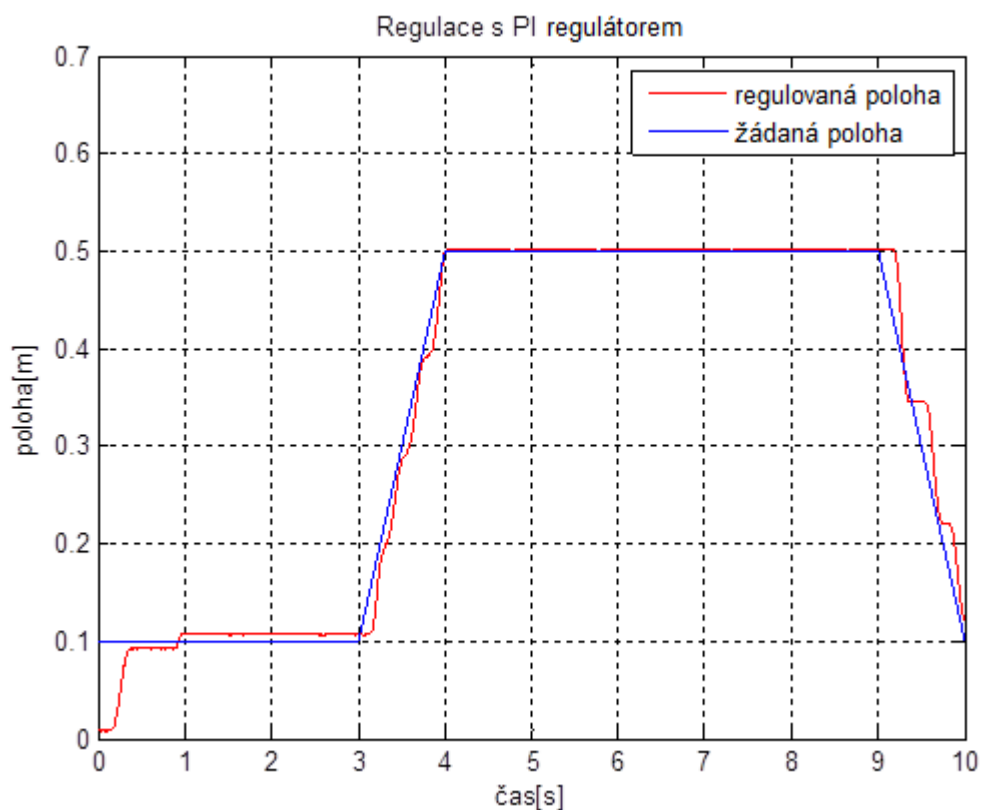
Obrázek 26 Regulace se zvolenými parametry pro regulátor typu P

Pro regulátor P byly zvoleny následující parametry:

Hodnota krytí šoupátka byla nastavena na 0,01

$$k_P = 5,6$$

Podle Ziegler-Nicholsovy metody byl navržen regulátor typu P. Regulace pro daný zdvih (0,5) je poměrně přesná. Při náběhu na požadovanou hodnotu vznikají skoky, které jsou způsobeny proporcionální složkou. Vzniká také trvalá regulační odchylka, kterou odstraňuje integrační složka.



Obrázek 27 Regulace se zvolenými parametry pro regulátor typu PI

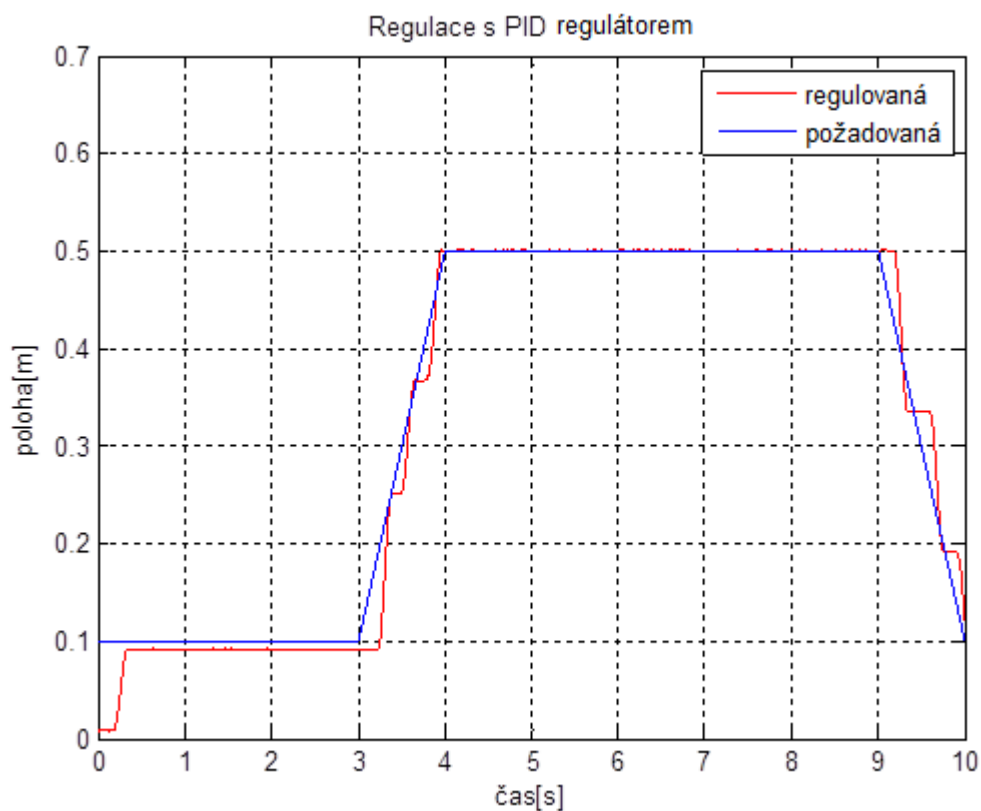
Pro regulátor PI byly zvoleny následující parametry:

Hodnota krytí šoupátka = 0,01

$k_p = 5$

$T_I = 0,3$

Podle Ziegler-Nicholsovy metody byl navržen regulátor typu PI. Regulace pro daný zdvih (0,5) je poměrně přesná. Při náběhu na požadovanou hodnotu vznikají skoky, které jsou způsobeny proporcionální složkou. Tyto skoky jsou potlačeny díky přítomnosti integrační složky.



Obrázek 28 Regulace s vypočtenými parametry pro regulátor typu PID

Pro regulátor PID byly zvoleny následující parametry:

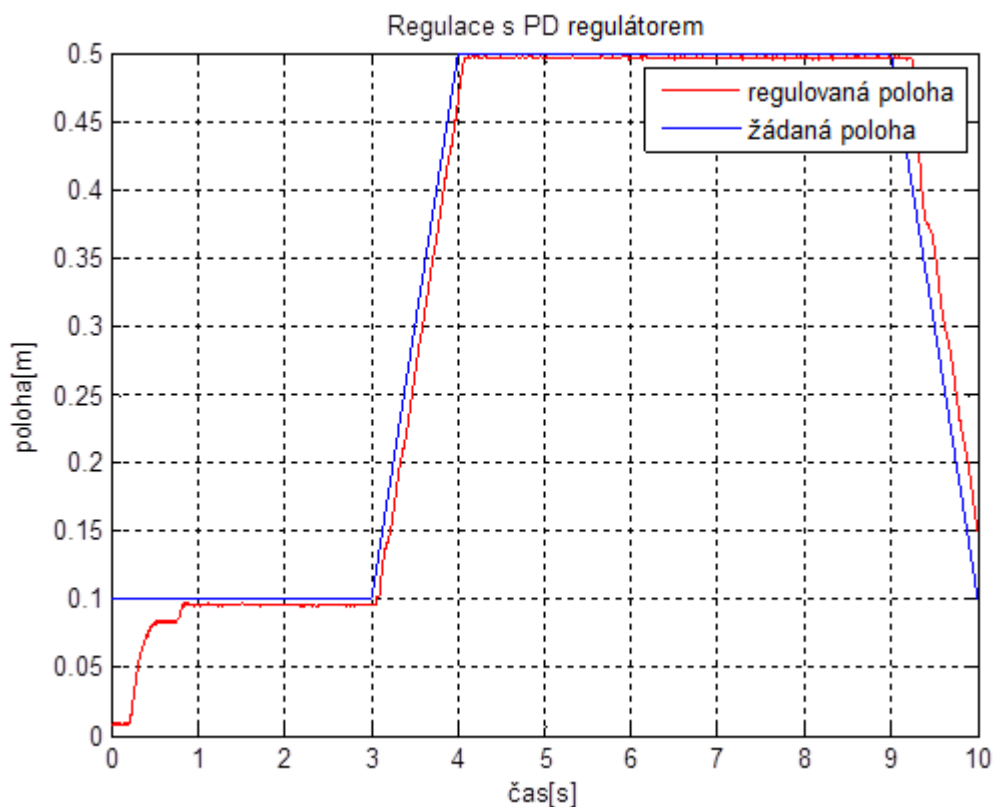
Hodnota krytí šoupátka = 0,01

$k_p = 6,8$

$T_I = 0,17$

$T_D = 0,04$

Podle Ziegler-Nicholsovy metody byl navržen regulátor typu PID. Regulace pro daný zdvih (0,5) je poměrně přesná. Při náběhu na požadovanou hodnotu vznikají skoky, které jsou způsobeny proporcionální složkou. Tyto skoky jsou potlačeny díky přítomnosti integrační složky, ale opět zesíleny derivační složkou.



Obrázek 29 Regulace s vypočtenými parametry pro regulátor typu PD

Pro regulátor PD byly zvoleny následující parametry:

Hodnota krytí šoupátka = 0,01

$k_P = 4,563171$

$T_D = 0,17$

Podle Ziegler-Nicholsovy metody byl navržen regulátor typu PD. Regulace pro daný zdvih (0,5) je poměrně přesná. Při náběhu na požadovanou hodnotu vznikají skoky, které jsou způsobeny proporcionalní složkou. Díky kombinaci těchto dvou složek jsou tyto skoky potlačeny.

Laděním regulátoru se podařilo získat výslednou regulaci s dostatečnou přesností. Nejlepší průběh byl dosažen se zvolenými hodnotami pro $k_P = 4,563171$ a $T_D = 0,17$.

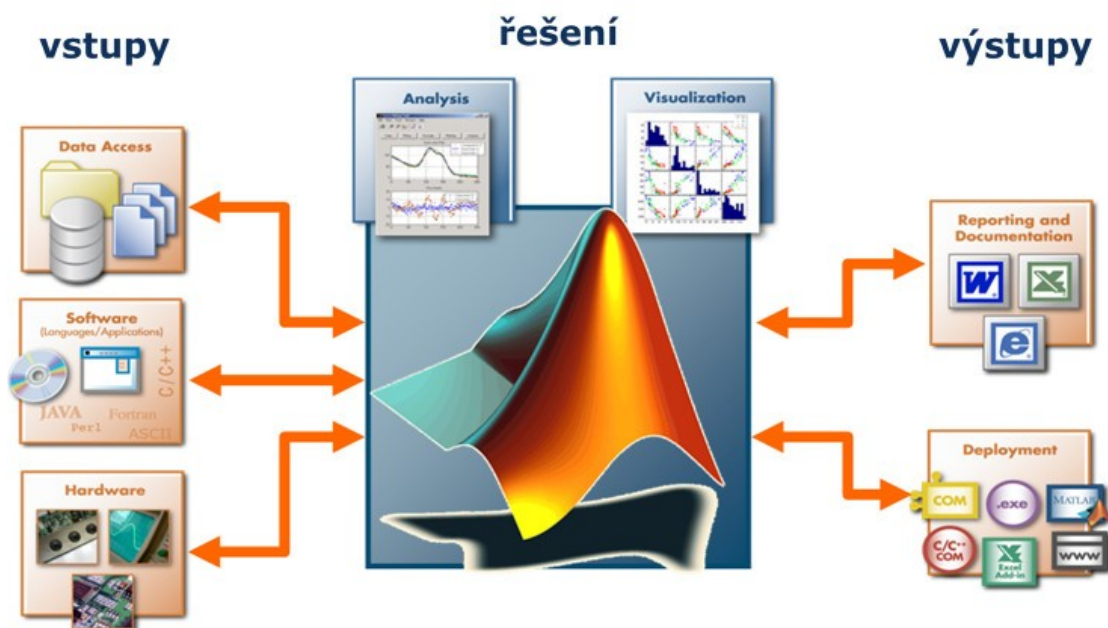
4 Matlab/Simulink a grafický nástroj GUI

V této kapitole je popsáno programové prostředí Matlab spolu se simulačním programem Simulink a grafickým nástrojem GUI, jež jsou součástí Matlabu.

4.1 Matlab

Matlab je vysokoúrovňový programovací jazyk a integrované prostředí pro vědeckotechnické výpočty, vizualizaci, programování, modelování, simulaci, analýzu a prezentaci dat atd. Tento systém poskytuje uživatelům rozsáhlé grafické a výpočetní nástroje a speciální knihovny funkcí, které jsou využitelné ve všech oblastech lidské činnosti. Pomocí nástroje Matlab je možné pohodlně vyvíjet široké spektrum aplikací. Díky otevřené architektuře tvoří systém Matlab celosvětový standard v technických výpočtech a simulaci v oblasti vědy, výzkumu, průmyslu a vzdělávání. Nejpodstatnější výhodou Matlabu je rychlé výpočetní jádro s optimálními algoritmy. Další předností je jednoduchost a možnost řešení náročnějších úloh bez znalosti matematické podstaty výpočtu. Matlab dále nabízí širokou škálu užitečných nástrojů a funkcí, například působivou 2D a 3D grafiku, objektové programování, integraci s jazykem Java, interaktivní nástroje pro tvorbu grafického uživatelského rozhraní, zvukový vstup a výstup, animace, rozsáhlou dokumentaci v pdf nebo v hypertextové formě, velké množství aplikačních knihoven a další [HUMUSOFT 2014 a, MATHWORKS 2014 b].

Funkční schéma systému Matlab je zobrazeno na obrázku 30.



Obrázek 30 Matlab [HUMUSOFT 2014 a]

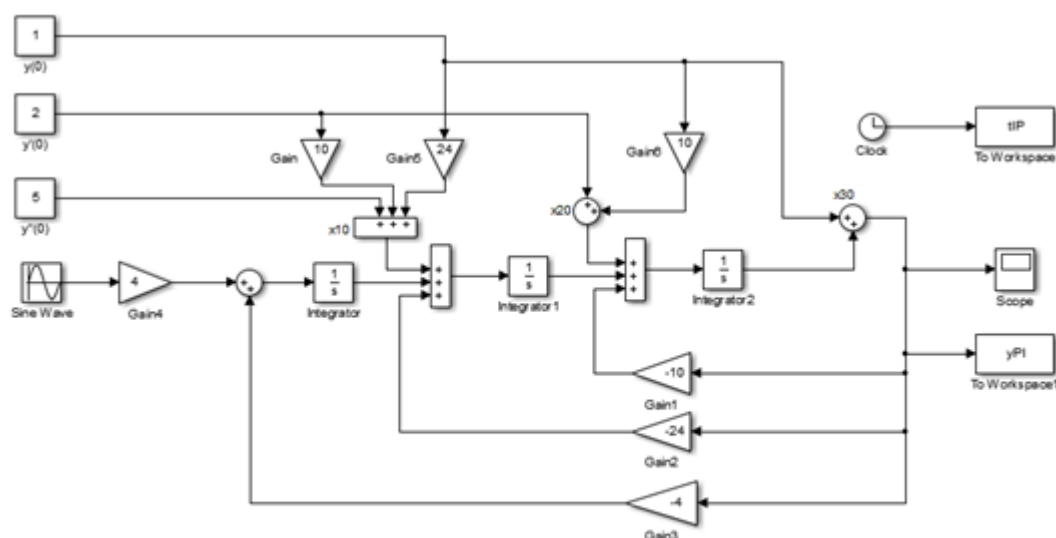
Nejvýznamnější částí výpočetního jádra systému Matlab jsou algoritmy pro operace s maticemi reálných a komplexních čísel. Pomocí Matlabu je tedy možné realizovat všechny běžné operace s maticemi, ale i operace s polynomy, vícerozměrnými poli, poli buněk atd. Dále je možné provést analýzu signálu (výpočet střední hodnoty a směrodatné odchylky, hledání extrémů, výpočet korelačních koeficientů, rychlá Fourierova transformace). Matlab také umožňuje reprezentovat vektor jako časovou řadu nebo signál.

Velkou výhodou Matlabu je také možnost uživatele vytvářet vlastní funkce pro své aplikace, které je možné tvořit v tzv. `m*.souboru`. Způsob volání těchto funkcí je shodný s vestavěnými funkcemi. Takto vzniklé funkce jsou přenosné mezi různými platformami (Windows, Linux, Solaris, Mac). Díky otevřené architektuře mnoho firem vyvinulo další knihovny a nástroje Matlabu nebo propojení s vlastními speciálními programy. Typ architektury také přispěl ke vzniku knihoven funkcí nazývaných toolboxy. Toolboxy nabízejí předzpracované specializované funkce, jimiž rozšiřují použití programu ve vědních a technických oborech.

Konfigurovatelné uživatelské rozhraní Matlab Desktop je základním nástrojem celého systému. Do prostředí jsou dále integrovány nástroje jako prohlížeč adresářů a souborů, okno historie příkazů, editor, debugger, hypertextová nápověda, nástroj pro import dat a další [HUMUSOFT 2014 a].

4.2 Simulink

Simulink je grafické prostředí integrované v Matlabu sloužící pro modelování a simulaci dynamických systémů. Simulink využívá algoritmy Matlabu při numerickém řešení nelineárních diferenciálních rovnic. Příklad řešení nelineární diferenciální rovnice metodou postupné integrace pomocí Simulinku je vyobrazeno na obrázku 31. Pomocí Simulinku je možné rychle a jednoduše vytvářet modely soustav v podobě blokových schémat. Prostřednictvím této nástavby je možné snadno simulovat lineární či nelineární, diskrétní či spojité systémy. Při tvorbě modelů je možno využívat knihovnu Simulinku, kterou lze rozšiřovat podle potřeb uživatele. Mezi nejvýznamnější výhody patří přenositelnost modelů mezi různými platformami. Jako v celé prostředí Matlab je i prostředí Simulink navrženo s otevřenou architekturou, které vedla ke vzniku tzv. blocksetů. Blocksety představují rozšíření základní knihovny Simulinku a umožňují tak užívání programu v dalších vědních a technických oborech [HUMUSOFT 2014 e].



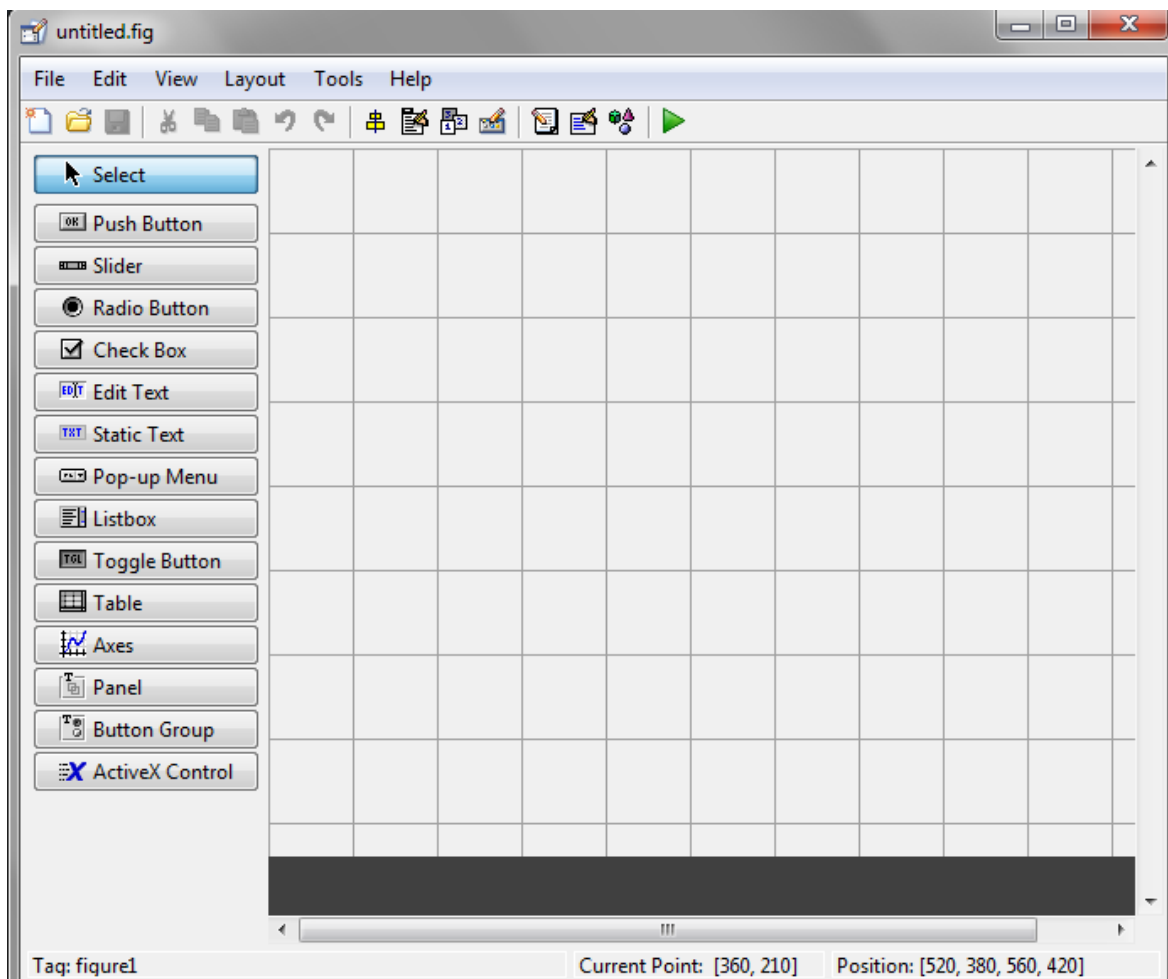
$$0.5\ddot{y}(t) + 5\dot{y}(t) + 12y(t) = 2\cos(2t), \dot{y}(0) = 5, y(0) = 2, y''(0) = 1$$

Obrázek 31 Příklad simulačního schématu vytvořeného v programu Simulink

4.3 Grafický nástroj GUI

Anglická zkratka GUI (graphical user interface) znamená grafické uživatelské prostředí. Takovým grafickým rozhraním disponuje i programové prostředí Matlab. GUI poskytuje jednoduché ovládání softwarových aplikací pomocí myši, což eliminuje potřebu znalosti jazyka či příkazů za účelem spuštění aplikace. Samostatné programy Matlabu s koncovkou GUI slouží k automatizaci úlohy nebo výpočtu. Grafické prostředí obvykle obsahuje prvky, jako jsou nabídky, panely nástrojů, tlačítka a posuvníky. Vývojové prostředí GUI, označované jako GUIDE (GUI development environment), poskytuje nástroje pro tvorbu uživatelských rozhraní pro vlastní aplikace.

Pro větší kontrolu nad návrhem je možné vytvořit v Matlabu kód, který definuje všechny dílčí vlastnosti a chování systému. Pomocí vestavěných funkcí je usnadněno vytvoření GUI pro vlastní aplikace. Náhled na prostředí GUI je znázorněn na obrázku 32. Jedná se o okno, do kterého uživatel přidává vybrané komponenty. Uživatelem mohou být přidány například dialogová okna, ovládací prvky (tlačítka) a kontejnery (skupiny panelů a tlačítek) Umístění a velikost těchto komponentů je libovolné [MATHWORKS 2014 c, MATHWORKS 2014 e].



Obrázek 32 GUI v Matlabu

Princip funkce grafického uživatelského rozhraní v systému Matlab je založen na zpětném volání funkcí tzv. callback. GUI čeká, až koncový uživatel zadá povel a pak reaguje na každou akci uživatele v daném pořadí. Například akce uživatele typu stisknutí tlačítka nebo označení komponentu kurzorem myši spustí provedení zpětného volání a GUI pak reaguje na tyto události. Uživatel sám definuje, co bude zpětné volání provádět. Tento druh programování se obvykle nazývá objektové programování. V objektovém programování je callback asynchronní. V tomto případě je většina událostí interakcí mezi uživatelem a GUI, ale GUI je schopen reagovat i na jiné druhy událostí, například vytvoření souboru nebo připojení zařízení k počítači. Rozlišujeme dva způsoby kódování zpětného volání:

- jako jazykové funkce Matlabu uložené v souborech,
- jako řetězce obsahující výrazy nebo příkazy systému Matlab (např.: print).

Používání funkcí uložených v souborech je vhodnější než používání řetězců. Funkce totiž mají přístup k argumentům a jsou flexibilnější. Skripty Matlabu nelze používat jako callback. Pokud je GUI právě používán, uživatel nemá žádnou kontrolu nad sledem událostí, které vedou ke konkrétnímu zpětnému volání funkce nebo která další zpětná volání běží současně [MATHWORKS 2014 a].

Matlab GUI je možné vytvořit dvěma způsoby. Prvním způsobem je použití GUIDE - interaktivní model GUI. Tento přístup začíná s oknem obsazeným komponenty z grafického editoru. GUIDE vytvoří přidružený soubor s kódem, který obsahuje zpětná volání pro GUI a jeho složky. GUIDE uloží 2 soubory, jeden jako obrázek FIG – soubor a druhý jako kódový soubor. Otevření jednoho souboru způsobí otevření druhého a tím spuštění GUI. Druhý způsob spočívá ve vytvoření kódových souborů, které tvoří GUI jako funkci nebo skripty – programový model GUI. Použití tohoto přístupu umožňuje vytvořit kódový soubor, který definuje všechny dílčí vlastnosti a chování systému. Při spuštění se vytvoří obrázek, naplní se složkami a zpracovává uživatelské interakce. Většinou tento obrázek není uložen mezi jednotlivými relacemi, protože kód vytváří nový soubor při každém spuštění [MATHWORKS 2014 e].

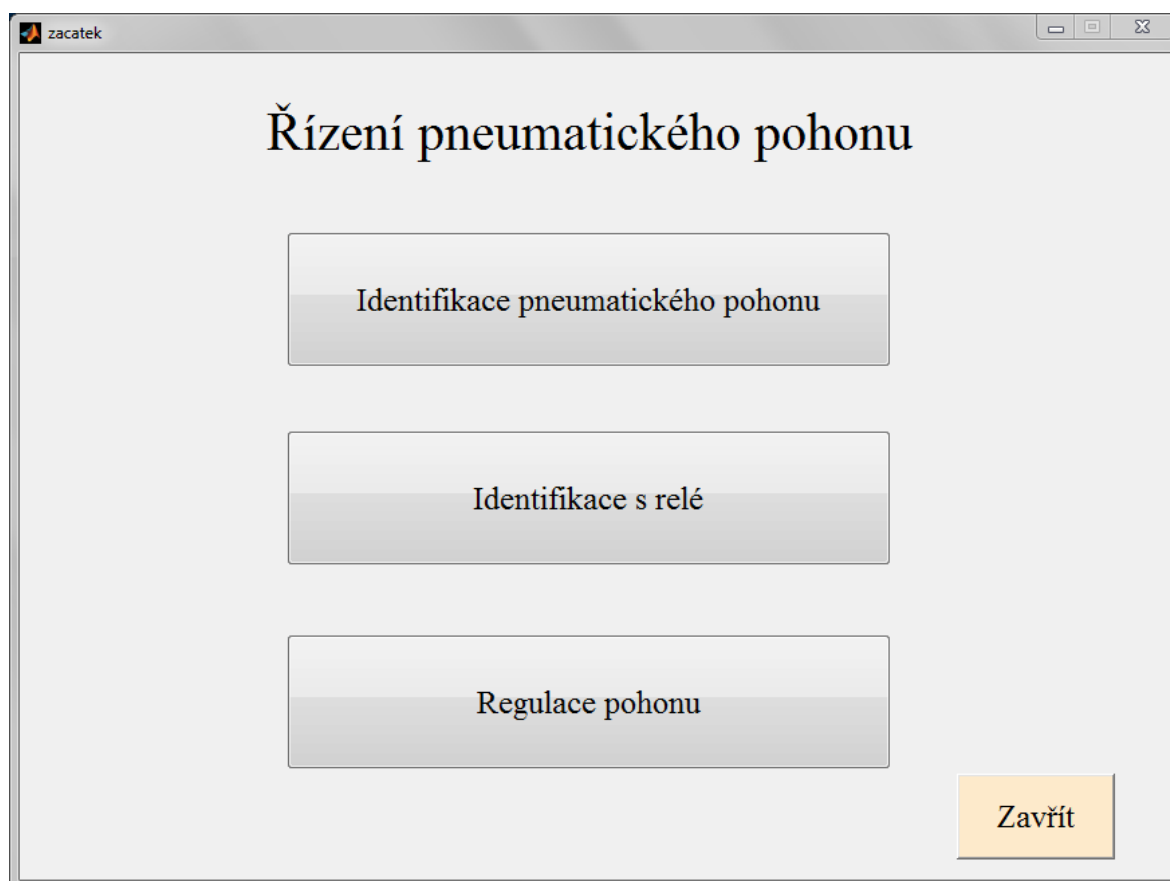
Pomocí grafického subsystému je umožněno snadné zobrazení a prezentace vypočtených výsledků. Matlab nabízí širokou nabídku grafů, například 2D a 3D grafy, histogramy atd. Vlastnosti každého grafického objektu je možné měnit prostřednictvím přiřazenému identifikátoru. Vzhled obrázků v grafických oknech je dále možno měnit pomocí lišty nástrojů pod záhlavím obrázku. Matlab umožňuje také vytvořit aktivní, graficky ovládané uživatelské rozhraní pomocí grafického systému Handle Graphics [HUMUSOFT 2014 a].

Mezi oblasti využití systému Matlab patří například automatické řízení a regulace, modelování fyzikálních soustav, aplikovaná matematika, zpracování obrazu a mnoho dalších [HUMUSOFT 2014 a].

Prostředí Matlab je tedy možné využít k vytvoření modelů pneumatických systémů a na základě simulací prostřednictvím Simulinku je možné získat potřebné informace o vlastnostech těchto systémů.

5 GUI aplikace pro práci se simulačním modelem

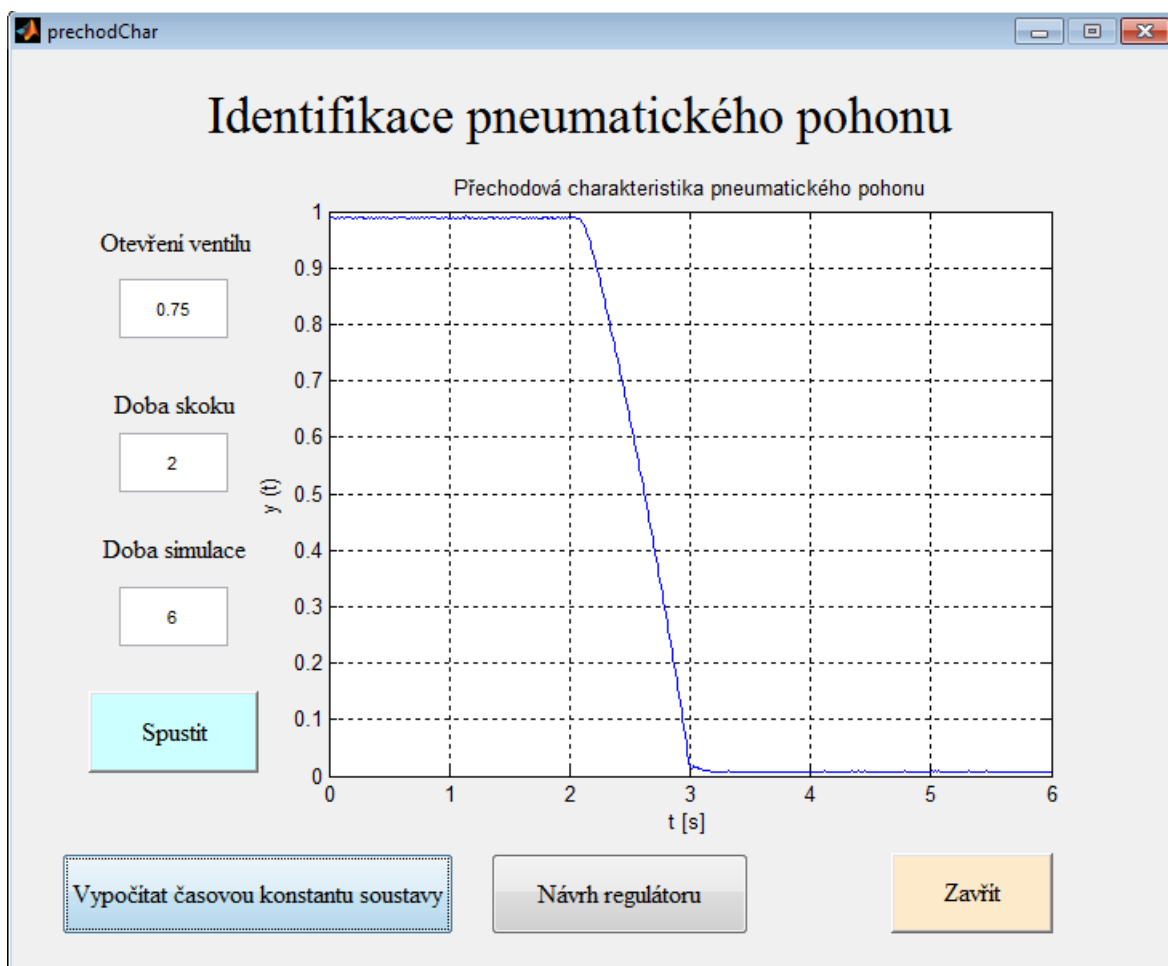
V programovém prostředí Matlab/GUI byla vytvořena základní aplikace pro práci s modelem. Aplikace sestává celkem ze čtyř oken - jedno hlavní okno a tři podokna. Spouštěcím souborem aplikace je „zacatek.fig“. Při spuštění aplikace se objeví hlavní okno s nabídkou tří tlačítek odpovídající třem typům úloh pneumatického pohonu. Jedná se o identifikaci pneumatického pohonu, díky němuž můžeme provést měření přechodových charakteristik. Druhé tlačítko je určeno pro identifikaci pomocí relé ve zpětné vazbě a poslední tlačítko zprostředkovává regulaci pneumatického pohonu. Náhled hlavního okna je na následujícím obrázku 33.



Obrázek 33 Hlavní okno aplikace

5.1 Identifikace pneumatického pohonu

Okno Identifikace pneumatického pohonu je zobrazeno na následujícím obrázku. V tomto okně je možné zadat hodnotu otevření ventilu, dobu skoku vstupního signálu a dobu simulace. Po stisknutí tlačítka „Spustit“ dojde ke spuštění simulačního modelu a poté se zobrazí výsledná přechodová charakteristika pneumatického pohonu.

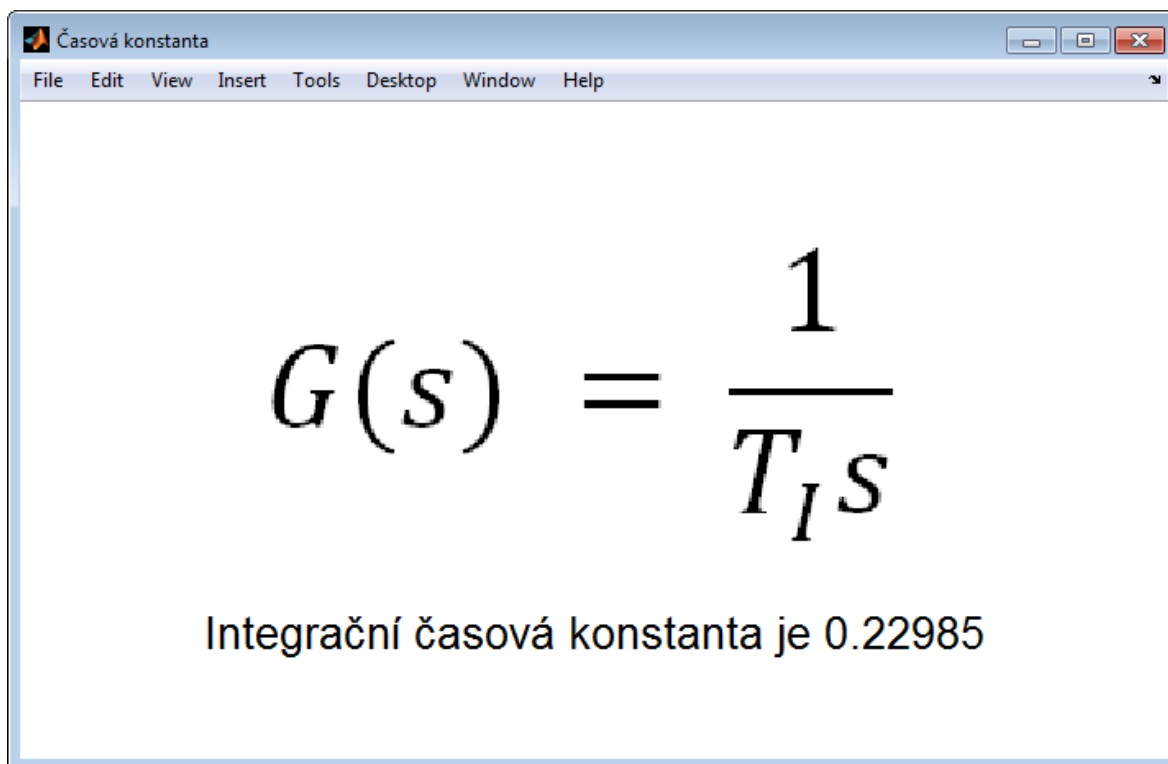


Obrázek 34 Identifikace pneumatického pohonu

Získanou přechodovou charakteristiku je potřeba aproximovat za účelem zjištění přenosu soustavy. K aproximaci přechodové charakteristiky byl využit následující vztah:

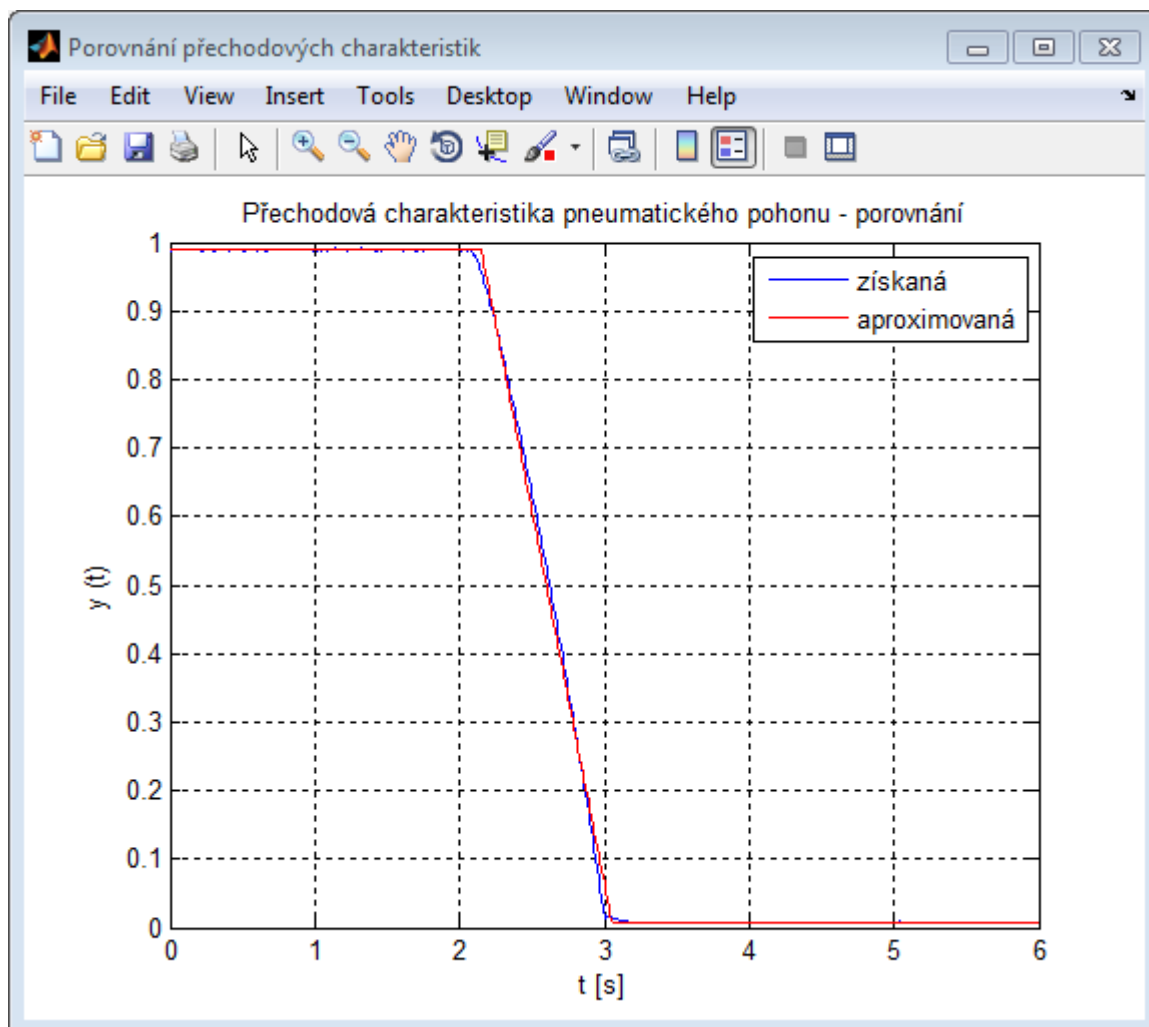
$$T_I = \frac{u_0}{\frac{\Delta y}{\Delta t}}$$

Proměnná u_0 je velikost vstupního skoku a je vypočteno jako absolutní hodnota ze zadané žádané hodnoty snížené o 0,5. Proměnné Δy a Δt jsou získány z průběhu přechodové charakteristiky pomocí příkazu „find“. Po stisknutí tlačítka „Vypočítat časovou konstantu“ je časová konstanta zobrazena do okna na obrázku 35.



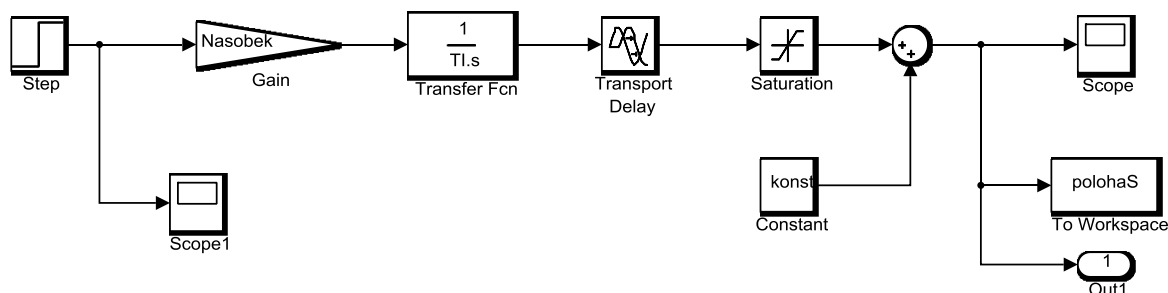
Obrázek 35 Časová konstanta a přenos soustavy

Správnost výpočtu časové konstanty je ověřena prostřednictvím vykreslení získané a aproximované přechodové charakteristiky. Tento průběh se objeví spolu s časovou konstantou po stisknutí daného tlačítka. Příklad porovnání přechodových charakteristik je vykreslen na následujícím obrázku.



Obrázek 36 Porovnání přechodových charakteristik

Pro získání aproximovaného průběhu přechodové charakteristiky bylo využito následující simulační schéma, které je znázorněno na obrázku 37. Proměnná „Nasobek“ se mění v rozsahu 1 a -1 v závislosti směru otevření ventilu. Proměnná „konst“ přičítá k průběhům podle potřeby hodnotu 0 nebo 1. Důvodem zavedení těchto proměnných je smysluplné porovnání přechodových charakteristik. Otevření ventilu od 0,1 do 0,5 způsobí převrácený průběh přechodové charakteristiky než otevření ventilu v rozmezí od 0,5 do 0,9.



Obrázek 37 Simulační schéma pro porovnání přechodových charakteristik

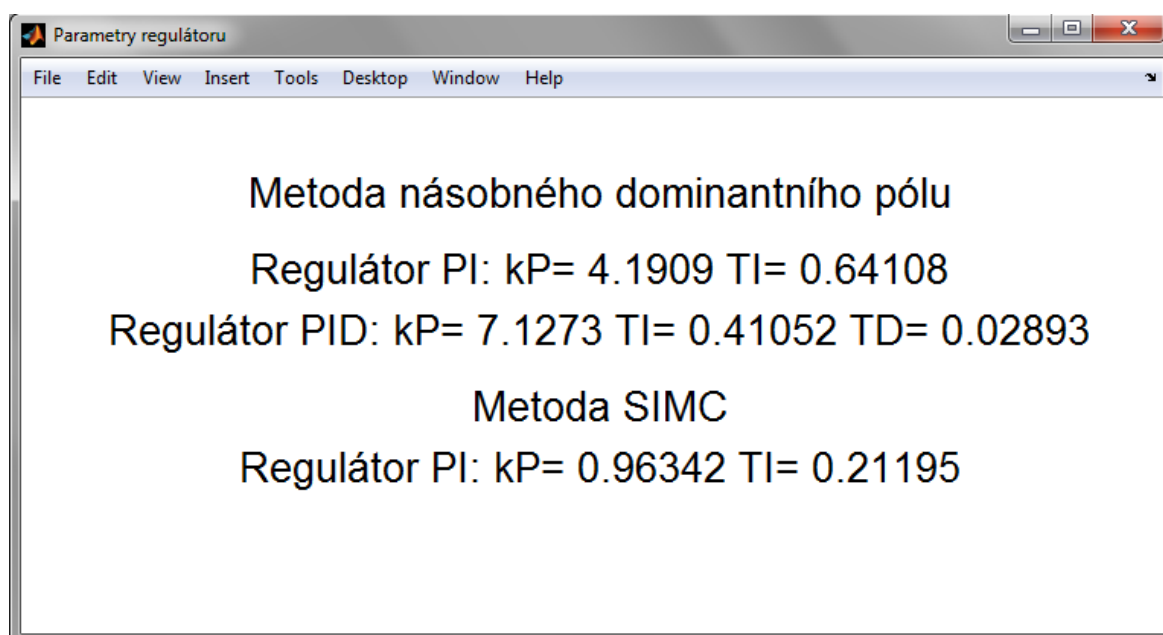
V rámci identifikace přechodové charakteristiky v otevřené smyčce je možné navrhnout regulátory. Pro tuto úlohu byly zvoleny dvě metody syntézy regulačního obvodu: Metoda násobného dominantního pólu a Metoda SIMC. Pro metodu SIMC byly použity následující vztahy:

$$k_p^* = \frac{T_I}{2k_1 T_d}$$

$$T_I^* = T_1$$

[VÍTEČEK, A., VÍTEČKOVÁ, M. 2008]

Stisknutím tlačítka „Návrh regulátorů“ zobrazíme vypočítané parametry různých typů regulátorů, jak lze vidět na obrázku 38.



Obrázek 38 Parametry regulátorů

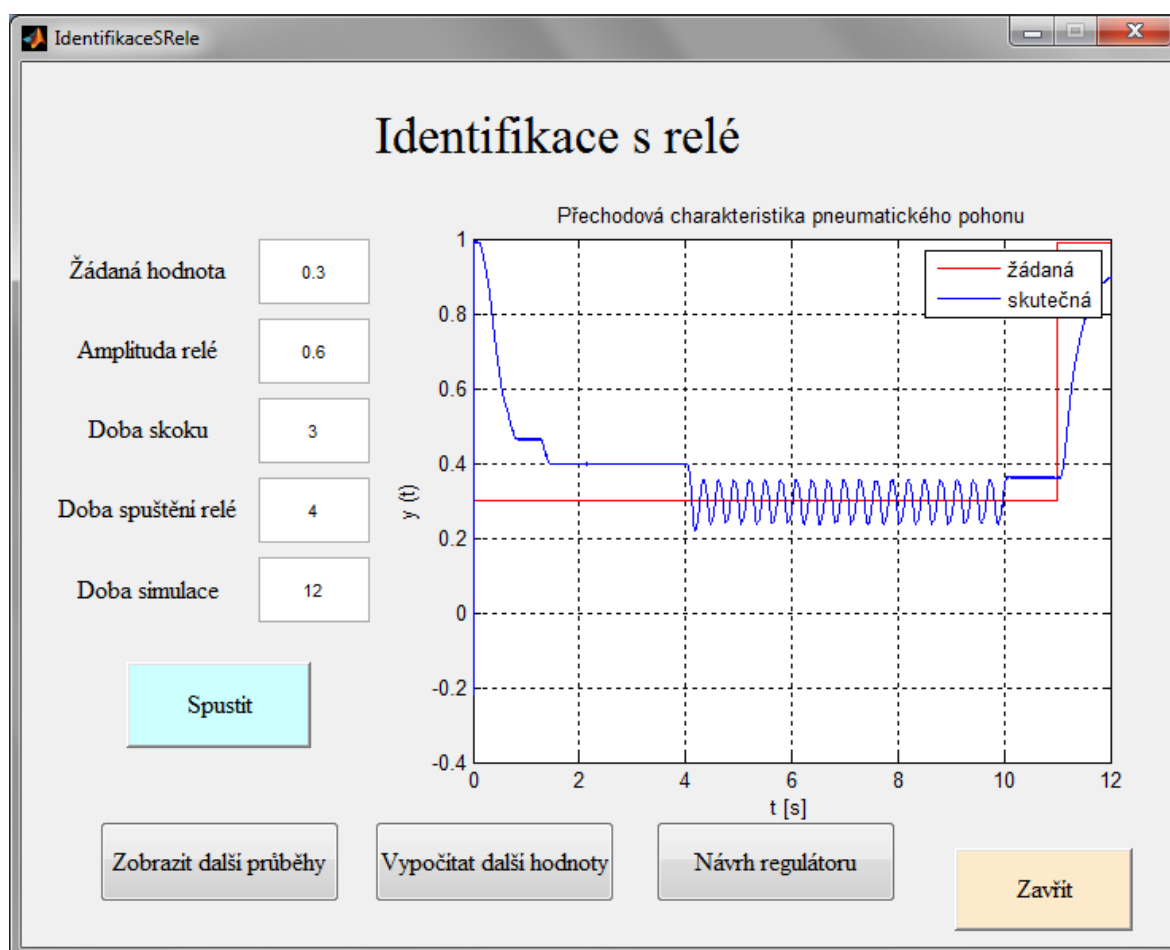
Všechny použité proměnné jsou v Matlabu vypsány do okna Workspace. Pro vysvětlení jsou v následující tabulce jednotlivé zkratky popsány.

Tabulka 17 Proměnné v okně Workspace - Identifikace pneumatického pohonu

Ps	Systemový tlak
PsA	Tlak v komoře A
PsB	Tlak v komoře B
SP	Doba skoku
T	Celková doba simulace
a	Hodnota otevření ventilu
u	Vstupní vektor
y	Výstupní vektor

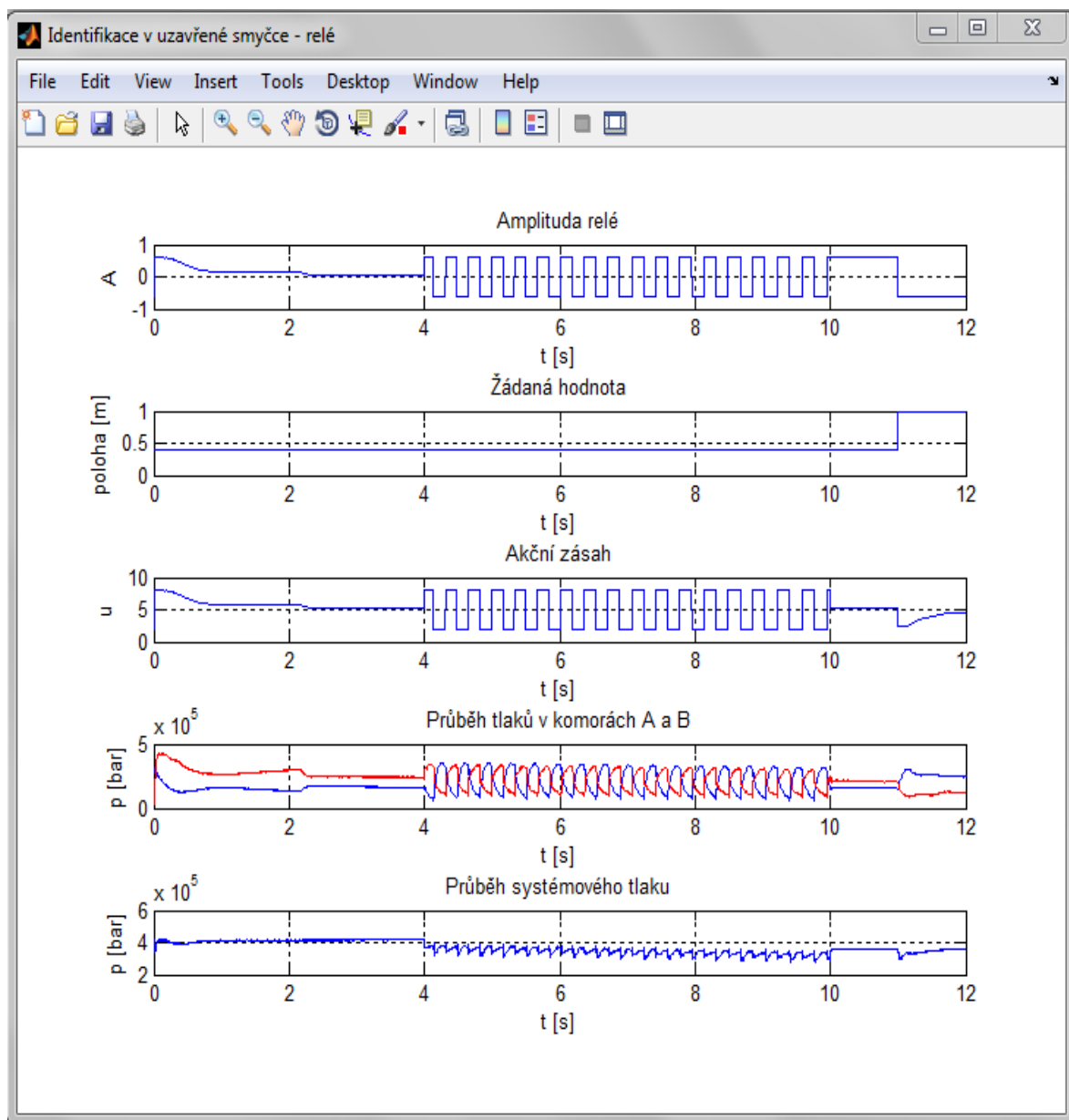
5.2 Identifikace pomocí relé

Další částí aplikace je okno umožňující identifikaci pomocí relé. V okně zobrazeném na obrázku 39 je možné zadávat žádanou hodnotu, amplitudu relé, dobu skoku, dobu spuštění relé a celkovou dobu simulace. Po vyplnění příslušných políček a kliknutí na tlačítko „Spustit“ uživatel zahájí simulaci, která spustí pneumatický pohon. Do příslušného okna se vykreslí přechodová charakteristika pneumatického pohonu.



Obrázek 39 Identifikace pomocí relé

Ihned po spuštění má uživatel přístup k dalším průběhům, jedná se o závislost amplitudy relé, žádané hodnoty, akčního zásahu, tlaků v komorách A a B a systémového tlaku na čase. Jednotlivé průběhy jsou vykresleny do samostatného okna po stisknutí tlačítka „Zobrazit další průběhy“ viz obrázek 40.



Obrázek 40 Zobrazení dalších průběhů - identifikace pomocí relé

Zařazením relé do obvodu dojde k rozkmitání přechodové charakteristiky. Získaný průběh kmitá kolem žádané hodnoty. Z tohoto průběhu je nutné odečíst amplitudu kmitu soustavy a kritickou periodu kmitu. Pro získání amplitudy je opět využita funkce „find“, pomocí níž je nalezeno maximum a minimum. Hodnoty maxima a minima jsou příslušně upraveny vzhledem k žádané hodnotě a následně poděleny dvěma, aby odpovídaly hledané amplitudě.

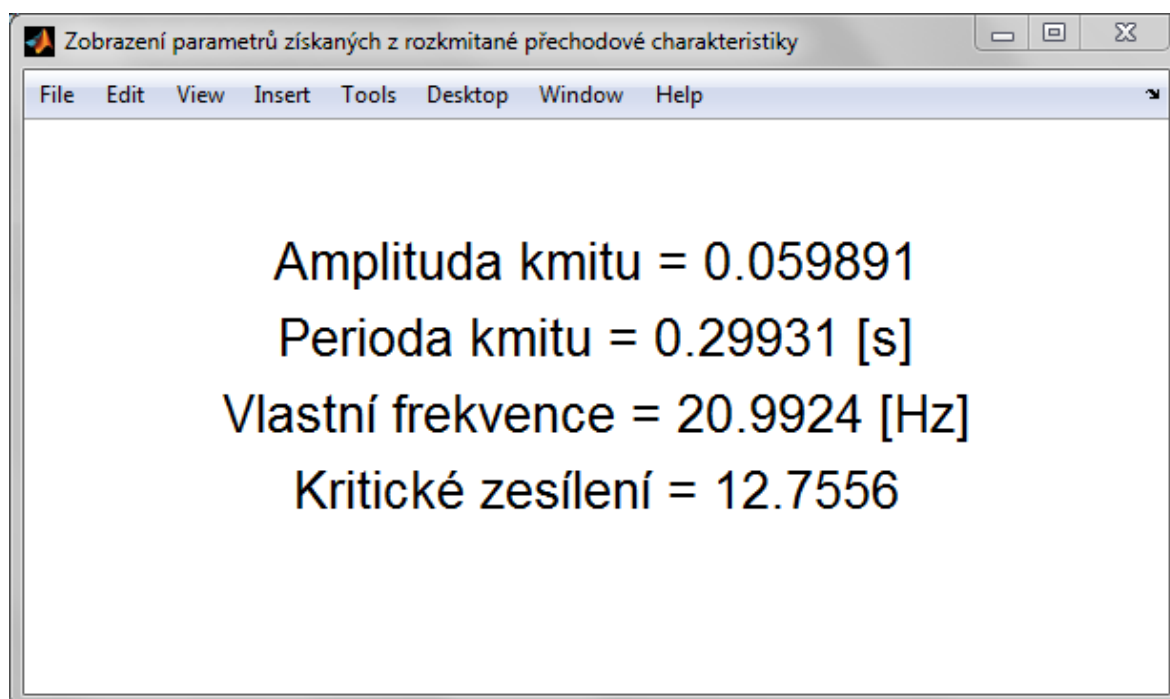
Pro výpočet periody je využita autokorelace, která upraví signál do vhodného tvaru pro snadné odečtení periody. Funkce zajišťující autokorelaci se nazývá „xcorr“ a funkce použita pro následné zjištění periody je „findpeaks“.

Pomocí hodnoty amplitudy kmitu soustavy a kritické periody je možné vypočítat hodnotu vlastní frekvence ω_k a kritického zesílení K_{pk} .

$$K_{pk} = \frac{4M}{\pi A_y}$$

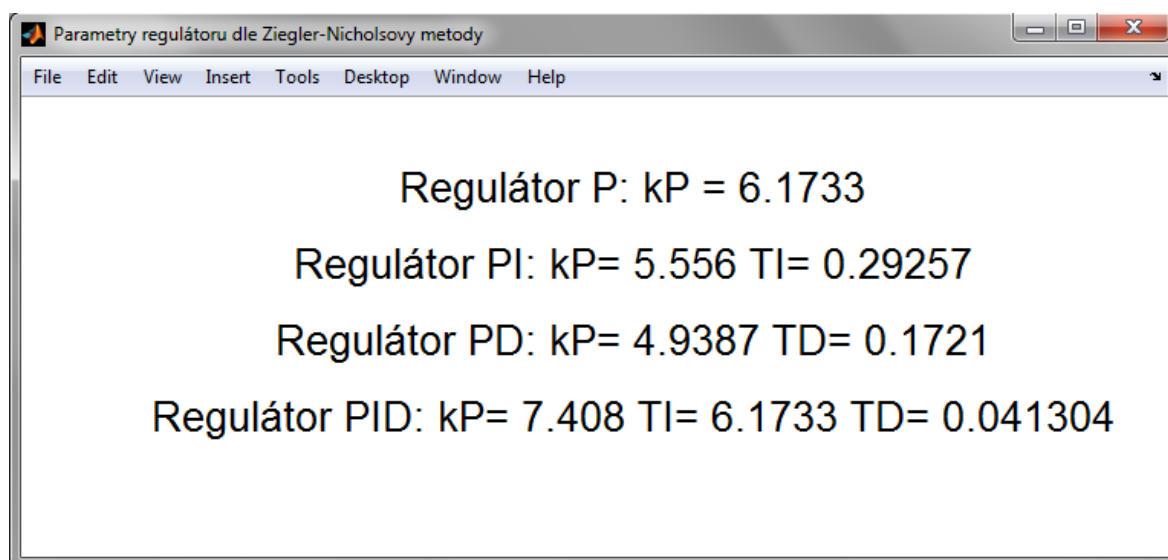
$$\omega_k = \frac{2\pi}{T_k}$$

Stisknutím tlačítka „Vypočítat další hodnoty“ se otevře nové okno, ve kterém jsou vypsány výše zmíněné hodnoty – tedy amplituda kmitu soustavy, kritická perioda, kritické zesílení a vlastní frekvence. Ukázka tohoto okna je na obrázku 41.



Obrázek 41 Hodnoty získané z rozkmitané přechodové charakteristiky

Znalost těchto hodnot je nutná pro výpočet jednotlivých složek regulátorů podle Ziegler-Nicholsovy metody. Dosazením kritického zesílení a kritické periody kmitu do vztahů uvedených v tabulce 12, jsou vypočítány parametry regulátorů. Stisknutím tlačítka „Návrh regulátoru“ se zobrazí okno s požadovanými informacemi, které je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek 42 Parametry regulátoru podle Ziegler-Nicholsovy metody

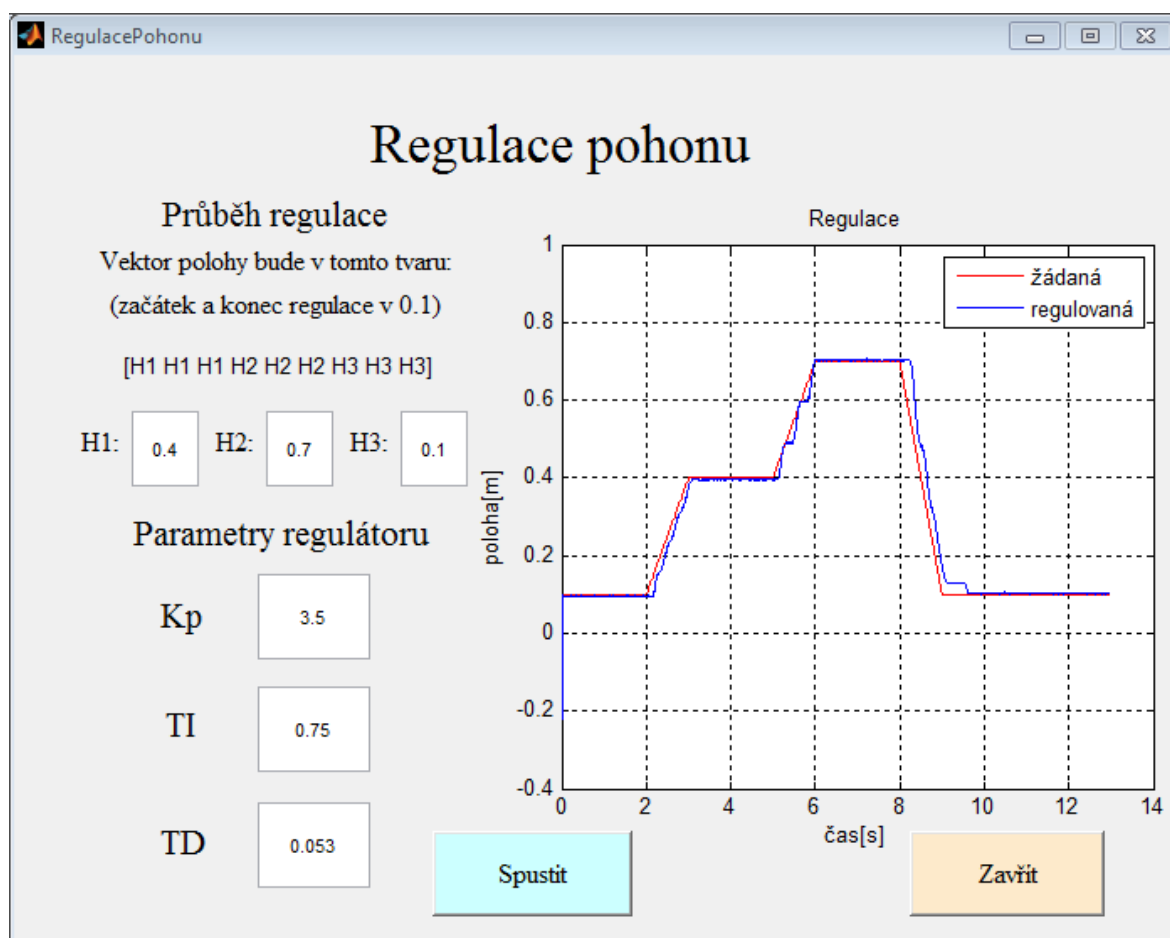
Všechny použité proměnné jsou v Matlabu vypsány do okna Workspace. Pro vysvětlení jsou v následující tabulce jednotlivé zkratky popsány.

Tabulka 18 Proměnné v okně Workspace - Identifikace s relé

AR	Amplituda relé
M	Kmity relé
Ps	Systémový tlak
PsA	Tlak v komoře A
PsB	Tlak v komoře B
T	Celková doba simulace
TR	Doba spuštění relé
g	Zadaná hodnota polohy
s	Doba skoku
t	Vektor času
u	Vstupní vektor
w	Žádaná hodnota
y	Výstupní vektor

5.3 Regulace

Na následujícím obrázku je zobrazeno okno pro regulaci pneumatického pohonu. V tomto okně je možné zadávat hodnoty jednotlivých složek PID regulátoru. Typ regulátoru lze změnit pomocí zadání nulové hodnoty některé složky regulátoru PID. Po zadání hodnot a stisknutí tlačítka „Spustit“ se objeví dva průběhy – požadovaný průběh a průběh s použitím regulátoru.



Obrázek 43 Regulace pneumatického pohonu – empiricky zvolené parametry

Okno regulace umožňuje nejen zadání jednotlivých parametrů regulátorů, tedy hodnotu zesílení, integrační a derivační časovou konstantu, ale také zvolit průběh regulace. Je možné zadat tři hodnoty, kterými má regulovaná veličina postupně projít. Tyto hodnoty jsou pomocí skriptu v Matlabu převedeny do vektorového tvaru vhodného pro toolbox LookUpTable, jehož prostřednictvím je uskutečňován požadovaný průběh. LookUpTable požaduje zadání dvou vektorů stejné délky, jedním z nich je již zmíněný průběh polohy a druhým je časový vektor. Vektor času je vygenerován jako posloupnost

hodnot odpovídající velikosti vektoru představujícího průběh polohy. Díky možnosti rychlé změny daných parametrů je umožněno efektivní ladění regulátorů.

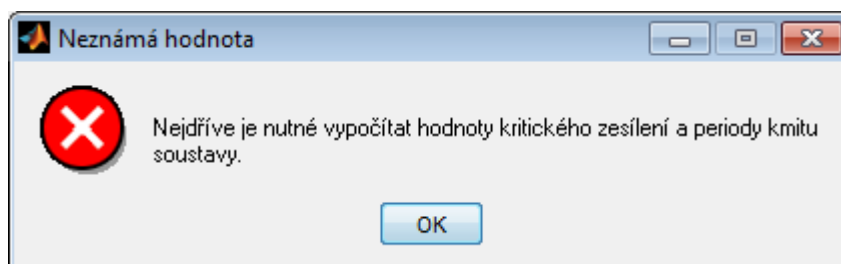
Všechny použité proměnné jsou v Matlabu vypsány do okna Workspace. V následující tabulce jsou jednotlivé zkratky vysvětleny.

Tabulka 19 Proměnné v okně Workspace – Regulace pneumatického pohonu

CasV	Časový vektor (Look-Up Table)
D	Hodnota časové derivační konstanty
I	Hodnota časové integrační konstanty
KP	Hodnota zesílení
PolohaV	Vektor polohy (Look-Up Table)
Ps	Systémový tlak
PsA	Tlak v komoře A
PsB	Tlak v komoře B
RP1	Zadaná poloha 1
RP2	Zadaná poloha 2
RP3	Zadaná poloha 3
T	Celková doba simulace
odchylka	Průběh odchylky
poloha	Skutečný a žádaný průběh polohy
polohazadana	Skutečný průběh polohy
t	Vektor času

5.4 Dialogová okna

Součástí aplikace pro ovládání pneumatického pohonu jsou také dialogová okna. Mají za úkol varovat uživatele v případě zadání nevhodných hodnot nebo informovat o následující hodnotě. Hodnoty představující otevření ventilu a hodnoty žádané polohy musí být omezeny. Tyto hodnoty mohou být pouze v rozmezí 0,1 – 0,9 vzhledem ke konstrukčnímu řešení pneumatického pohonu. Další omezení je nutné v případě otevírání ventilu. V poloze 0,5 je ventil zavřený a otevírá se dvěma směry. Pokud v prvním případě zadáme hodnotu 0,4, otevře se ventil a následný tlak způsobí pohyb jezce jedním směrem. V následujícím případě musíme zadat hodnotu vyšší než 0,5, aby se ventil přestavil do druhé polohy a tím došlo k žádanému pohybu jezce na opačnou stranu. Dojde tak k požadovanému vykreslení přechodové charakteristiky. V opačném případě jezdec zůstane na místě a působí tlakovou silou ve stejném směru jako v předchozím případě. Výsledek tohoto případu by byl nepoužitelný pro měření přechodové charakteristiky, o čemž se můžeme přesvědčit.



Obrázek 44 Dialogové okno – neznámá hodnota

Dalšími hodnotami, které je třeba omezit je doba skoku vstupního signálu a celková doba simulace. Jedná se o úlohy Identifikace pneumatického pohonu a Identifikace s relé. Doba simulace nesmí být kratší než doba skoku. Pokud by byla doba skoku delší než celková doba simulace, skončila by simulace dřív, než by došlo ke skoku vstupního signálu. Daná simulace by neproběhla správně a získaný průběh by neodpovídal požadovanému průběhu, protože by se nejednalo o přechodovou charakteristiku.

Pokud by uživatel chtěl znát hodnoty parametrů regulátorů dříve, než byly vypočítány příslušné hodnoty potřebné k výpočtu parametrů regulátorů (například časová konstanta nebo vlastní frekvence), dojde také k zobrazení dialogového okna. Pro zajištění správné funkčnosti byla použita funkce „exist“, která má za úkol zjistit existenci dané proměnné.

Posledními hodnotami, které je nutné omezit, jsou hodnoty průběhu regulace v úloze zvané Regulace pohonu. Tyto hodnoty jsou předány do Toolboxu typu LookUpTable a musí odpovídat fyzickému rozsahu pneumatického pohonu a nastavení simulačního schématu. Uživatelem zadané hodnoty musí být v rozmezí od 0,1 do 0,9.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit řízení laboratorního modelu lineárního přímočarého pneumatického pohonu pomocí karty MF634, ověřit řídicí algoritmy a vytvořit grafické uživatelské prostředí pro řízení pneumatického pohonu. Pro splnění cílů této práce bylo potřeba nastudovat a vypracovat teoretický rozbor pneumatického pohonu, programového prostředí Matlab/Simulink a Matlab GUI. Na základě získaných teoretických znalostí mohlo být uskutečněno přepojení pohonu, ověření algoritmů a vytvoření uživatelské aplikace. Zmíněné části jsou situovány do pěti kapitol.

První kapitola zahrnuje teoretický rozbor pneumatického pohonu a jeho částí. Vybrané parametry daných částí pneumatického pohonu jsou přehledně zpracovány do tabulek. Druhá kapitola se zabývá popisem pneumatického pohonu z hlediska řízení a porovnáním dosavadní karty MF614 a nahrazující karty MF634. Pneumatický pohon je řízen prostřednictvím řízení polohy šoupátka, kterou můžeme regulovat zadáním hodnoty napětí v rozsahu 0 – 10 V. Celá soustava je říditelná z prostřední Matlab/Simulink prostřednictvím simulačních schémat.

Navazující kapitola se věnuje přepojení řízení současného pohonu na měřicí kartu MF634, jehož nedílnou součástí je ověření stávajících algoritmů. Tato kapitola popisuje identifikaci pneumatického pohonu prostřednictvím měření, vyhodnocování a aproximování přechodových charakteristik. Pneumatický pohon je identifikován přímo a pomocí relé ve zpětné vazbě. U přímé identifikace byl proveden výpočet integrační časové konstanty, dále byla provedena následná aproximace přechodové charakteristiky. Pomocí schématu vytvořeného v Simulinku bylo provedeno porovnání získané a aproximované přechodové charakteristiky. Následoval výpočet dopravního zpoždění a návrh regulátorů typu PI a PID podle metody násobného dominantního pólu. Při identifikaci pomocí relé byly z průběhu přechodové charakteristiky odečteny příslušné hodnoty (tj. amplituda kmitu soustavy a kritická perioda kmitu). Pomocí zjištěných hodnot byly vypočítány hodnoty vlastní frekvence a kritické zesílení, které je nutné znát pro návrh parametrů regulátorů typu P, PI, PD a PID pro jednotlivé zdvihy pneumatického pohonu. Pro návrh parametrů těchto regulátorů byla využita Ziegler-Nicholsova metoda. Pokud vypočtené parametry neposkytovaly dostatečně kvalitní regulaci, byly dané parametry empiricky upraveny.

Veškeré průběhy byly pro názornost vykresleny do grafů pomocí programu Microsoft Excel nebo programového prostředí Matlab. Po ověření stávajících algoritmů násadoval stručný popis programového prostředí Matlab/Simulink a grafického prostředí Matlab GUI.

V další části diplomové práce je popsána tvorba uživatelské aplikace, kterou jsem pojmenovala *MeGUI*. Tato aplikace pro řízení pneumatického pohonu zprostředkovává tři typy úloh – identifikaci pneumatického pohonu, identifikaci s relé a regulaci pohonu. Aplikace obsahuje celkem 4 okna. Jedno okno slouží jako rozcestník mezi zmíněnými třemi úlohami. Nejdříve bylo nutné zvládnout funkce jako je vykreslování průběhů přechodových charakteristik a průběhu regulace. Následně byla aplikace doplněna o výpočet časové konstanty a veškerých potřebných parametrů pro identifikaci s relé. Zmíněnými parametry jsou amplituda kmitu soustavy, perioda kmitu, kritické zesílení a vlastní frekvence. Pro možnost výpočtu těchto parametrů musely být související průběhy nejdříve patřičně upraveny. Perioda kmitu soustavy je počítána pomocí funkce pro autokorelaci „xcorr“. Amplituda kmitu soustavy je vypočtena pomocí funkcí maximum a minimum. Výpočet časové konstanty je proveden prostřednictvím funkce „find“. U první úlohy (Identifikace pneumatického pohonu) je také umožněn návrh parametrů regulátorů podle metody násobného dominantního pólu a metody SIMC. Syntéza regulačního obvodu pro druhou úlohu (identifikace s relé) je provedena podle Ziegler-Nicholsovy metody. Vypočtené parametry jednotlivých regulátorů snadno zobrazíme kliknutím na příslušné tlačítko.

V okně regulace pneumatického pohonu je možné zadat průběh regulace pro možnost regulování pro různé zdvihy. Uživatel může zadat celkem tři hodnoty polohy, které jsou převedeny do tvaru vhodného pro vytvoření požadovaného průběhu. V aplikaci nechybí dialogová okna, která varují uživatele při zadání nesprávných hodnot či doporučují zadání správných hodnot. Tato okna jsou využita například při zadání většího než povoleného rozsahu hodnot otevření ventilu nebo žádaných hodnot. Rozsah těchto hodnot je omezen fyzickými vlastnostmi pneumatického pohonu.

Tuto aplikaci je vhodné využít ve výuce při studiu pneumatických pohonů. Pomocí jednotlivých úloh v aplikaci je mnohem snazší dané problematice porozumět. Aplikace *MeGUI* poskytuje zautomatizované a současně přesnější výpočty mnoha parametrů. Pro získání těchto parametrů bylo dosud nutné nejdříve vykreslit grafy a pak z nich odečítat dané hodnoty. *MeGUI* uživateli značně usnadní práci při identifikaci a následné regulaci soustavy. Tato aplikace může být také použita vyučujícím pro ověření správnosti výsledků po odečítání z grafů. V neposlední řadě aplikace poskytuje pohodlný přístup k ovládání veškerých laboratorních úloh, které byly doposud řízeny pouze ze simulačních schémat v prostředí Matlab/Simulink. Aplikaci je možné dále rozšiřovat a upravovat dle potřeb uživatele.

Seznam použité literatury

DUŠEK, F. 2000. *MATLAB a SIMULINK úvod do používání*. 1. vydání, Pardubice, Univerzita Pardubice, ISBN 80-7194-273-1, 146 s.

E-AUTOMATIZACE. *Pneumatické pohony* [online]. [cit. 2014-06-30]. Dostupný z WWW: <http://www.eautomatizace.cz/ebooks/ridici_systemy_akcni_cleny/Akc_pneu.html>.

FESTO. *Přímočaré pohony DPG/DPGL* [online]. 2006 [cit. 2014-06-29]. Dostupný z WWW: <http://xdki.festo.com/xdki/data/doc_CS/PDF/CZ/DGP_CZ.PDF>.

HUMUSOFT a. *Matlab* [online]. 2014 [cit. 2014-06-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.humusoft.cz/produkty/matlab/matlab/>>.

HUMUSOFT b. *MF614* [online]. 2014 [cit. 2014-09-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.humusoft.cz/produkty/datacq/old/mf614/>>.

HUMUSOFT c. *MF634* [online]. 2014 [cit. 2014-09-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.humusoft.cz/produkty/datacq/mf634/>>.

HUMUSOFT d. *Real – Time Windows Target* [online]. 2014 [cit. 2015-4-21]. <http://www.humusoft.cz/produkty/matlab/aknihovny/rtwt/>.

HUMUSOFT e. *Simulink* [online]. 2014 [cit. 2014-06-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.humusoft.cz/produkty/matlab/simulink/>>.

KAMINSKÝ, J., KOLARČÍK, K. *Kompresory* [online]. 2006 [cit. 2014-06-29]. Dostupný z WWW: <<http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/PS/kompresory-skripta.pdf>>.

MATHWORKS a. *How does the GUI work* [online]. 2014 [cit. 2014-07-01]. Dostupný z WWW: <http://www.mathworks.com/help/matlab/creating_guis/how-does-a-gui-work.html>.

MATHWORKS b. *Matlab* [online]. 2014 [cit. 2014-06-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.mathworks.com/products/matlab/>>.

MATHWORKS c. *Matlab GUI* [online]. 2014 [cit. 2014-07-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html>>.

MATHWORKS d. *Simulink* [online]. 2014 [cit. 2014-06-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.mathworks.com/products/simulink/>>.

MATHWORKS e. *Ways to Build MATLAB GUIs 2014* [cit. 2014-07-01]. Dostupný z WWW: <http://www.mathworks.com/help/matlab/creating_guis/ways-to-build-matlab-guis.html>.

MIHOLA, M., aj. 2013. *ROBOTIKA – TEORIE*. 1. vydání, Ostrava, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 392 s.

NOSKIEVIČ, P. 1999. *Modelování a identifikace systémů*. 1. vydání, Ostrava, MONTANEX a.s., 1999, ISBN 80-7225-030-2.

PLACATA, J. *Kreslení pneumatických prvků a schémat* [online]. 2013 [cit. 2014-06-30]. Dostupný z WWW: <www.spskladno.cz/stahuj_dumy.php?id=2058>.

SMITH, S., T. 2006. *MATLAB – Advanced GUI Development*. Indianapolis, Dog Ear Publishing, ISBN 1-59858-181-3.

SPS-KO. *Automatizace a robotizace I.* [online]. 2014 [cit. 2014-06-29]. Dostupný z WWW: <http://www.spsko.cz/documents/ARO_prorok/Pneumatick%C3%A9%20%C5%99%C3%ADzen%C3%AD.pdf>.

VAŘDURA, J. 1987. *Hydraulické a pneumatické mechanismy*. 2. vydání, Brno, Vysoké učení technické v Brně.

VÍTEČEK, A., VÍTEČKOVÁ, M. *Základy automatické regulace*. 2. vydání. Ostrava: VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2008. str. 244. ISBN-978-80-248-1924-2.

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, KATEDRA HYDROMECHANIKY A HYDRAULICKÝCH ZAŘÍZENÍ. *Pneumatika*. [online]. 2008 [cit. 2014-06-29]. Dostupný z WWW: <<http://www.338.vsb.cz/PDF/13HYDRO-PNEU.pdf>>.

ZMIJKA, M. 2013. *Řízení pneumatického pohonu pomocí signálového procesoru*. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Katedra 352, 2013, 81 s.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Pneumatický válec [FESTO 2006].....	12
Obrázek 2 Řez proporcionálním průtokovým ventilem [ZMIJKA, M. 2013].....	15
Obrázek 3 Závislost řídicího napětí ventilu na poměrném otevření ventilu [ZMIJKA, M. 2013].....	17
Obrázek 4 Odporový snímač polohy [ZMIJKA, M. 2013]	18
Obrázek 5 Snímač tlaku [ZMIJKA, M. 2013]	20
Obrázek 6 Schéma laboratorního modelu pneumatického systému [ZMIJKA, M. 2013] ..	22
Obrázek 7 Srovnání pinů karet MF614 a MF634 [HUMUSOFT 2014 b, c].....	23
Obrázek 8 Měřicí karta MF614 [HUMUSOFT 2014 b]	24
Obrázek 9 Měřicí karta MF634 [HUMUSOFT 2014 c]	25
Obrázek 10 Simulační schéma pro identifikaci pneumatického pohonu.....	27
Obrázek 11 Simulační schéma pro identifikaci s relé.....	28
Obrázek 12 Simulační schéma pro regulaci	28
Obrázek 13 Přechodová charakteristika pro otevření ventilu 0,75 (50%).....	30
Obrázek 14 Aproximace přechodové charakteristiky	31
Obrázek 15 Odečtení hodnot Δy a Δt	32
Obrázek 16 Dopravní zpoždění	33
Obrázek 17 Simulační schéma pro vykreslení přechodové charakteristiky (bez dopravního zpoždění).....	33
Obrázek 18 Simulační schéma pro vykreslení přechodové charakteristiky (s dopravním zpožděním)	34
Obrázek 19 Porovnání přechodových charakteristik s přenosem bez dopravního zpoždění	34
Obrázek 20 Porovnání přechodových charakteristik s přenosem s dopravním zpožděním	35
Obrázek 21 Průběh tlaků v komorách A a B	36
Obrázek 22 Regulace s vypočtenými parametry pro regulátor typu PI.....	38
Obrázek 23 Regulace s vypočtenými parametry pro regulátor typu PID	39

Obrázek 24 Regulace s empiricky navrženými parametry pro regulátor typu PID	40
Obrázek 25 Amplituda kmitu soustavy	41
Obrázek 26 Regulace se zvolenými parametry pro regulátor typu P	48
Obrázek 27 Regulace se zvolenými parametry pro regulátor typu PI	49
Obrázek 28 Regulace s vypočtenými parametry pro regulátor typu PID	50
Obrázek 29 Regulace s vypočtenými parametry pro regulátor typu PD	51
Obrázek 30 Matlab [HUMUSOFT 2014 a]	53
Obrázek 31 Příklad simulačního schématu vytvořeného v programu Simulink	54
Obrázek 32 GUI v Matlabu	56
Obrázek 33 Hlavní okno aplikace	58
Obrázek 34 Identifikace pneumatického pohonu	59
Obrázek 35 Časová konstanta a přenos soustavy	60
Obrázek 36 Porovnání přechodových charakteristik	61
Obrázek 37 Simulační schéma pro porovnání přechodových charakteristik	62
Obrázek 38 Parametry regulátorů	62
Obrázek 39 Identifikace pomocí relé	64
Obrázek 40 Zobrazení dalších průběhů - identifikace pomocí relé	65
Obrázek 41 Hodnoty získané z rozkmitané přechodové charakteristiky	66
Obrázek 42 Parametry regulátoru podle Ziegler-Nicholsovy metody	67
Obrázek 43 Regulace pneumatického pohonu – empiricky zvolené parametry	68
Obrázek 44 Dialogové okno – neznámá hodnota	70